UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

# EFFICACITÉ BACTÉRICIDE D'UN APPAREIL DOMESTIQUE DE FILTRATION D'EAU POTABLE

Par JOSÉE BELLEY

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE MAITRE EN SCIENCES APPLIQUÉES
(M.Sc.A)

Mars 1989

(c) droits réservés de Josée Belley 1989.

ational Library
f Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

anadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

ttawa, Canada
1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-52698-X

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

**EFFICACITÉ BACTÉRICIDE D'UN APPAREIL DOMESTIQUE DE FILTRATION D'EAU POTABLE**

présenté par Josée Belley
en vue de l'obtention du grade de
Maître es Sciences Appliquées
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. Luc Bois, S.M, président

M. Claude E. Delisle, Ph.D

M. Gabriel Durocher, M.Sc.

# SOMMAIRE

Un nouvel appareil de purification d'eau potable domestique, incluant un système de filtration au charbon activé granulaire, a été mis sur pied. Un système de désinfection aux rayons ultraviolets y est couplé afin d'enrayer la possibilité d'une prolifération bactérienne dans le charbon activé. Ce dispositif fait en sorte que l'eau dans l'appareil respecte les normes microbiologiques acceptées par le Ministère de la Santé.

Afin de vérifier l'efficacité de désinfection de l'appareil, quatre protocoles expérimentaux ont été élaborés. Deux protocoles vérifient l'importance d'incorporer un système de désinfection dans cet appareil et les deux autres vérifient l'efficacité de désinfection des rayons ultraviolets. Les résultats démontrent qu'il est essentiel d'utiliser un meilleur système de désinfection aux rayons UV pour ce prototype. La désinfection est efficace en l'absence de filtre au charbon activé granulaire; dans ce cas, la qualité microbiologique de l'eau est respectée. Par contre, lors d'une prolifération, les rayons UV s'avèrent inefficaces pour la quantité et le type de bactéries présents dans le filtre.

## ABSTRACT

A new drinking water purification device using granular activated carbon (GAC) has been set up. An ultraviolet disinfection system has been added to this system to avoid bacterial proliferation in the GAC media. This device prevents water from exceeding microbiological standards accepted by Health and Welfare Canada.

Four experimental protocols have been elaborated to check the disinfection efficiency of the device. Two protocols verify the importance of incorporating a disinfection system in this device while the two others check ultraviolet disinfection efficiency. Results show that using such a system with this device is essential. Disinfection is efficient when there is no GAC in the device, and then water microbiological quality is respected. However this system turns out to be inefficient under high bacterial proliferation in the GAC media.

## REMERCIEMENTS

Le présent mémoire de maîtrise a été réalisé en partie grâce à un contrat octroyé à la société d'expertise en environnement Sodexen inc., pendant lequel l'auteur a pu effectuer l'échantillonnage ainsi que récolter les données avec la précieuse collaboration des techniciennes de la firme.

Je tiens à remercier, pour leur appui technique et professionnel Monsieur Claude Delisle, directeur du mémoire et professeur à l'École Polytechnique, Monsieur Arnold J. Drapeau, co-directeur du mémoire et également professeur à l'École Polytechnique, au département de Génie Civil, ainsi que le personnel de Sodexen inc. dont Monsieur Gabriel Durocher, biologiste, chargé du projet et Madame Constance Lebel, biologiste,

# TABLE DES MATIÈRES

Page.

SOMMAIRE .....IV

ABSTRACT .....V

REMERCIEMENTS .....VI

LISTE DES TABLEAUX .....XIII

LISTE DES FIGURES .....XVII

LISTE DES SIGLES ET SYMBOLES .....XIX

CHAPITRE I - INTRODUCTION ..... 1

CHAPITRE II - CADRE THÉORIQUE ..... 6

2.1 Généralités ..... 6

2.1.1 Organismes pathogènes possibles..... 6

2.1.2 Les polluants de l'eau potable..... 9

2.1.3 Qualité de l'eau de consommation.....11

2.2 Description d'un appareil à rayons UV .....12

2.2.1 Historique .....12

2.2.2 Équation mathématique .....15

2.2.3 Dosage des rayons UV pour inactiver les microorganismes .....20

2.2.4 Potentiel des UV comme pouvoir désinfectant

2.2.4.1 Position par rapport aux autres désinfectants .....21

2.2.4.2 Les lampes au quartz .....23

2.2.5 Sources d'interférences .....24

2.2.6 Limitations.....25

2.2.7 Installation d'un système d'alarme lors d'une défectuosité .....25

2.3 Le filtre au charbon activé granulaire .....27

2.3.1 Macropores et micropores .....28

2.3.2 Adsorption .....30

2.3.2.1 Mécanismes d'adsorption .....30

2.3.2.2 Le phénomène de relargage .....32

2.3.2.3 Efficacité d'enlèvement générale.....32

2.3.3 Capacité de filtration des microorganismes.....34

2.3.3.1 Bactéries et prolifération.....34

2.3.3.2 Virus, kystes et bactéries pathogènes .....38

2.3.4 Capacité de filtration des métaux et produits chimiques .....39

2.3.4.1 Études antérieures .....39

2.3.4.2 Effet synergique et compétitif ..40

2.3.4.3 Durée de vie du CAG .....41

2.3.4.4 Sources d'interférences .....42

2.3.4.5 Limites d'efficacité du CAG.....43

2.4 Règlements pour les purificateurs d'eau potable.44

2.5 Position du public et du gouvernement .....47

CHAPITRE III - MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Description et fonctionnement d'un appareil de purification .....50

3.1.1 Description de l'appareil .....50

3.1.2 Description du système de circulation et de recirculation .....56

3.2 Déroulement des quatre protocoles expérimentaux

3.2.1 Préliminaires .....58

3.2.2 Préparation de l'appareil .....61

3.2.3 Stérilisation des bouteilles .....63

3.2.4 Préparation des milieux de culture.....63

3.2.5 Ensemencement des bactéries .....64

3.2.6 Méthodes d'échantillonnage .....65

3.2.6.1 Prélèvements dans le module de stockage .....66

3.2.6.2 Prélèvement dans le réservoir de réfrigération .....67

3.2.6.3 Horaire d'échantillonnage pour les quatres protocoles .....67

3.2.7 Contrôle de la qualité à l'affluent et à l'effluent .....70

3.2.7.1 Bactéries .....70

3.2.7.2 Paramètres physiques .....71

3.2.7.3 Paramètres chimiques .....71

## CHAPITRE IV - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Présentation des résultats bruts du dénombrement bactérien.....73

4.1.1 Résultats qualitatif des bactéries...86

4.2 Présentation des résultats physico-chimique de l'eau provenant de l'appareil .....87

4.3 Discussion des résultats et recommandations

4.3.1 Défectuosités mécaniques de l'appareil ...90

4.3.1.1 Température .....90

4.3.1.2 Présence de bulles d'air.....91

4.3.2 Utilité d'un appareil de désinfection....91

4.3.2.1 Prolifération bactérienne sans recirculation d'eau dans la lampe. 92

4.3.2.2 Qualité microbiologique .....94

4.3.3 Pouvoir de désinfection de la lampe UV

4.3.3.1 Prolifération bactérienne avec recirculation .....95

4.3.4 Efficacité de filtration du CAG .....98

4.3.4.1 Bactériologique .....98

4.3.4.2 Physico-chimique .....98

4.3.5 Conclusion et recommandations .....98

**CHAPITRE V - CONCLUSION GENERALE** .....103

**CHAPITRE VI - BIBLIOGRAPHIE** .....105

**ANNEXES** .....116

## LISTE DES TABLEAUX

Page.

Tableau 1 - Possibilité de retrouver certains virus entériques dans l'eau potable .....8

Tableau 2 - Dose requise pour inactiver différents organismes .....18

Tableau 3 - Comparaison entre les 3 méthodes de traitement .....23

Tableau 4 - Déroulement des protocoles expérimentaux .....68

Tableau 5 - Quantité d'eau prélevée dans l'appareil .....69

Tableau 6 - Distribution des analyses chimiques dans les protocoles 1 et 3.....72

Tableau 7 - Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988 .....73

Tableau 8 - Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988 .....74

Tableau 9 - Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988 .....75

Tableau 10- Résultats du dénombrement des streptocoques fécaux effectués aux protocoles 1, 2, 3 et 4.....76
Tableau 11- Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 2, effectués en mai 1988 .....77
Tableau 12- Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 2, effectués en mai 1988 .....78
Tableau 13- Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 2, effectués en mai 1988 .....79
Tableau 14- Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 3, effectués en mai 1988 .....80
Tableau 15- Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 3, effectués en mai 1988 .....81
Tableau 16- Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 3, effectués en mai 1988 .....82
Tableau 17- Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988 .....83

Tableau 18- Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988 .....84

Tableau 19- Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988 .....85

Tableau 20- Résultats physico-chimiques de l'eau d'alimentaion provenant de l'appareil, effectués en mai et juin 1988.....88

Tableau 21- Résultats physico-chimiques de l'eau provenant du module de stockage de l'apparei effectués en mai et juin 1988.....89

Tableau A1- Moyennes statistiques des substances toxiques rejetées par les appareils à osmose inverse ..... 116

Tableau A2- Moyennes statistiques des contaminants organiques rejetés par différents type de membranes provenant des osmoses inverses . 116

Tableau A3- Pourcentage de réduction des THM par les appareils de CAG commercials ..... 117

Tableau A4- Pourcentage de réduction des composés organiques halogènes provenant des eaux souterraines, par le CAG ..... 117

Tableau A5- Pourcentage de réduction des composés organiques halogènes provenant des eaux de surface, par le CAG ..... 117

## LISTE DES FIGURES

Page.

Figure 1 - Le spectre électromagnétique.....16

Figure 2 - Efficacité germicide relative de l'énergie d'irradiation .....20

Figure 3 - Efficacité relative par rapport aux autres désinfectants .....21

Figure 4 - Particules de charbon activé au microscope électronique 60 x .....29

Figure 5 - Prolifération bactérienne sur le charbon activé démontré au microscope électronique 4000 x .....35

Figure 6 - Devant du montage préliminaire de l'appareil de filtration d'eau potable domestique .....51

Figure 6A- Trajet de circulation et de recirculation de l'eau dans l'appareil .....51

Figure 7 - Arrière plan du montage préliminaire de l'appareil de filtration d'eau potable domestique .....52

Figure 8 - Schéma général d'une lampe aux rayons ultraviolets .....53

Figure 9 - Type de pompe péristaltique utilisé .....56

Figure 10- Schéma visuel de la méthodologie .....61

Figure A1- Évaluation de la qualité de l'eau faite par le publique (1205 consommateurs).....118

Figure A2- Degré d'information données pour les consommateurs face aux incidents survenus dans le réseau .....118
Figure A3- Types de substances dangeureuses qui soulèvent la crainte chez le consommateur..119
Figure A4- Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocole 1 .....120
Figure A5- Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocole 2 .....120
Figure A6- Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocole 3 .....120
Figure A7- Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocole 4 .....120
Figure A8- Variations des divers éléments provenant du réservoir de consommation.....121
Figure A9- Variations des résultats phisico-chimiques provenant du réservoir de consommation ....121

## LISTE DES SIGLES ET DES SYMBOLES

| | |
|---|---|
| Å | angstrom |
| ADN | acide désoxyribonucléique |
| ARN | acide ribonucléique |
| BPC | biphényl polychloré |
| CAG | charbon activé granulaire |
| cm | centimètre |
| COT | carbone organique total |
| d | jour |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| exp | exposant |
| h | heure |
| Kg | kilogramme |
| L | litre |
| MES | matières en suspension |
| mL | millilitre |
| nm | nanomètre |
| $O_3$ | ozone |
| réf. | référence |
| s | seconde |
| T° | température |
| THM | trihalométhane |
| TMF | technique de la membrane filtrante |
| U.V. | ultraviolet |
| W | watt |

# CHAPITRE I - INTRODUCTION

La pollution de l'eau sans cesse grandissante qui est créée par la contamination des rejets industriels, agricoles et autres, exige des méthodes de purification d'eau potable de plus en plus complexes. Ainsi, l'ajout volontaire de plusieurs produits chimiques, parfois toxiques à certaines concentrations, qui peuvent se retrouver en plus ou moins grande quantité dans le système de distribution, attire l'attention d'un public de plus en plus averti et incite les gens à la méfiance quant à la qualité de l'eau potable au robinet.

Depuis les dernières années, on remarque une augmentation fulgurante de la demande de purificateurs d'eau potable domestique. Cette demande inclut plusieurs types d'appareils, tels: les filtres au charbon, les lampes à rayons ultraviolets, les ionisateurs, les colonnes de résines, les appareils à osmose inverse, les pichets filtrants, les bougies en céramique et les distillateurs, qui permettent selon leur spécialité l'enlèvement de substances organiques et inorganiques ainsi que certains goûts, odeurs et couleurs souvent désagréables pour les consommateurs (Lemay, 1988).

Mais plusieurs de ces appareils ne sont pas parfaits et

peuvent même comporter des risques pour la santé. Par exemple, le système de filtration au charbon activé granulaire est excellent pour l'enlèvement des matières organiques et de certaines substances inorganiques, mais il n'est pas garanti que l'eau sera exempte de bactéries ( Rozelle, 1987). C'est pourquoi on présente ici un nouvel appareil de traitement domestique de purification qui permet d'augmenter la qualité de l'eau consommée. Cet appareil de filtration, conçu à base de charbon activé à la noix de coco, possède en plus une lampe à rayons ultraviolets qui effectue une désinfection, donnant ainsi une sécurité supplémentaire pour le consommateur.

Le présent travail consiste donc à vérifier l'efficacité de cet appareil (type anonyme) de filtration et de désinfection de l'eau potable.

L'appareil, conçu par une entreprise anonyme, devrait présenter, selon cette dernière, une bonne performance de filtration de matières organiques et inorganiques, jusqu'à la concurrence de 160 litres répartis sur une période de 2 mois, i.e avec un débit de filtration de 6,24 $Ld^{-1}$. C'est donc uniquement pour usage d'eau de consommation qu'il faut s'en servir.

Nous devions non seulement vérifier l'efficacité du

filtre mais aussi celle de l'appareil en entier. Pour ce faire, avant même d'établir un protocole expérimental, nous avons éliminé le problème d'une prolifération bactérienne possible au moyen d'un système de désinfection en utilisant une lampe aux rayons ultraviolets. De plus, la prolifération peut aussi être atténuée dans le réservoir de consommation étant donné son système de réfrigération intégré. Ainsi, nous testons l'efficacité bactéricide de la lampe avec une prise d'échantillons dans les réservoirs de stockage et de consommation. Pour évaluer l'efficacité du purificateur, il faut déterminer;

- la capacité générale de filtration du filtre
- la performance du charbon activé vs débit
- la performance du charbon activé vs le temps
- la performance du charbon activé et de la lampe à rayons ultratraviolets en ce qui concerne l'enlèvement des microorganismes
- les points forts et les points faibles de la filtration

Les constantes sont la température de l'eau réfrigérée lorsque le système de refroidissement atteint le mode permanent. La variable est la qualité de l'eau d'apport.

Deux types d'eau sont analysées, soit l'eau traitée provenant du réseau d'aqueduc de l'usine de filtration de Laval, avec et sans contamination par des coliformes fécaux.

Ensuite, on examine l'efficacité de l'appareil en ce qui concerne l'enlèvement de paramètres chimiques, contenus dans l'eau du réseau de distribution ainsi qu'à la sortie de l'appareil.

La lampe à rayons ultraviolets a été choisie comme moyen de désinfection pour les avantages suivants:

- moyen de désinfection supplémentaire ajouté au chlore déjà existant dans le réseau de distribution;
- aucune formation possible de substances oxydantes pouvant causer des problèmes de goûts, d'odeurs ou de toxicité tel les THM (Ellner, 1986).

Cependant, aucune lampe ne peut obtenir une efficacité optimale contre tous les microorganismes, étant donné que chacun d'entre eux possède sa propre dose létale requise en $\mu W.s^{-1}.cm^{-2}$ (Kantardjieff, 1986).

Finalement, le charbon activé granulaire semble un moyen efficace pour l'enlèvement des matières organiques et

de certaines matières inorganiques tels le chlore résiduel; de plus, il élimine bien les problèmes de goût, d'odeurs et de couleurs (Regunathan et Beauman, 1987).

La mise sur pied de cet appareil est une première étape qui semble intéressante dans la combinaison d'un système de filtration, de désinfection et de réfrigération dans le domaine des appareils de filtration d'eau potable au point d'utilisation. La désinfection s'avère adéquate afin de garder et de promouvoir la qualité bactériologique dans les appareils de filtration d'eau potable domestique conçu au charbon actif. En effet, le public a tendance, après quelques mois d'utilisation, d'oublier l'entretien nécessaire du filtre. Cette négligence peut provoquer des problèmes plus graves que la simple consommation de l'eau traitée de la plupart des municipalités.

# CHAPITRE II - CADRE THÉORIQUE

## 2.1 Généralités

### 2.1.1 Organismes pathogènes possibles

Avec la pollution toujours grandissante, la qualité générale de l'eau décroît. C'est pourquoi les usines de traitement doivent affronter cette situation en essayant d'éliminer tous les composés chimiques et biologiques nuisibles dans l'eau potable, qui s'avère être un problème de plus en plus complexe. Aussi, le contrôle de la population bactérienne générale dans les réseaux de distribution est indispensable et aide a détecter la dégradation de la qualité de l'eau ou les lacunes qui pourraient survenir dans les usines de fitration d'eau potable.

Ainsi, comme indicateur de l'innocuité bactériologique, on utilise le compte des coliformes totaux. Les coliformes fécaux, tel Escherichia coli, sont les détecteurs d'une contamination fécale. Il existe d'autres indicateurs pour déterminer la qualité bactériologique de l'eau tels les streptocoques fécaux et Clostridium perfringens qui peuvent servir à confirmer l'origine fécale de la pollution lorsque la recherche des

coliformes ne donne pas de résultats concluants. De plus, les streptocoques permettent de distinguer entre la pollution d'origine animale et humaine.

Comme indicateur général de la qualité bactériologique, on retrouve Pseudomonas aeruginosa, le genre Salmonella, les bactériophages, les stérols fécaux ainsi que Klebsiella pneumoniae (Santé et Bien-être social Canada , 1977).

Tous ces organismes sont habituellement contrôlés à l'usine de traitement d'eau potable, soit par la chloration, la filtration, ou l'ozonation. Leur diamètre peut varier de 0,25 à 30 microns. Cependant, il faut normalement que la colonie bactérienne soit importante pour occasionner des problèmes de santé. Il n'est donc pas habituel de les rencontrer dans les réseaux de distribution à moins d'une incidence quelconque à l'usine ou dans le réseau.

Dans l'eau potable, il est possible de voir la présence de certains virus entériques selon le tableau suivant;

Tableau 1. Possibilité de retrouver certains virus entériques dans l'eau potable (Santé et Bien-être social Canada, 1977).

| Groupe viral | Nombre de types | Maladies |
|---|---|---|
| Entérovirus: | | |
| Poliovirus | 3 | paralysie, méningite |
| Echovirus | 34 | méningite, maladies des voies respiratoires, éruption, diarrhée, fièvre |
| Coxsackie groupe A | 24 | pharyngite vésiculeuse, maladies des voies respiratoires, méningite, fièvre |
| groupe B | 6 | myocardite,anomalies cardiaques congénitales, pleurodynie, méningite, éruption |
| Virus de l'hépatite A | 1 | hépatite infectieuse |
| Réovirus | 3 | gastro-entérite, maladies des voies respiratoires |

| | | |
|---|---|---|
| Adénovirus | 31 | maladies des voies respiratoires, infections de l'oeil |
| Rotavirus | 1 | gastro-entérite infantile |

Les virus mesurent entre 3 et 50 millièmes de micron. Seuls les filtres les plus fins les arrêteront. Ils sont souvent très résistants et il suffit parfois d'un seul virus pour déclencher une infection (Santé et Bien-être social Canada, 1977).

Tous les procédés de traitement de l'eau éliminent ou détruisent en partie les virus, dont la sédimentation, la coagulation et la précipitation ainsi que la filtration. Ultérieurement on procède à une désinfection comme mesure de sécurité (Santé et Bien-être social Canada, 1977).

### 2.1.2 Les polluants de l'eau potable.

Ce sont les substances étrangères que l'on retrouve dans l'eau potable. Beaucoup de ces substances sont inoffensives pour l'être humain. Par contre, chacun d'eux peut aussi contenir des substances très toxiques ou même de toxicité inconnue. On les regroupe en trois

catégories:

1 - les MES qui causent peu de problèmes et qui sont éliminés très facilement par les usines de traitement.

2 - les minéraux et les métaux dissous. Parmi les minéraux essentiels et inoffensifs pour la santé humaine, on retrouve le potassium, le sodium et le calcium. Les métaux toxiques bien connus contenus dans l'eau des réseaux d'aqueduc sont l'arsenic, le mercure, le plomb, le cadmium et plusieurs autres dont la toxicité est plus ou moins connue, sans parler des effets synergiques entre eux.

3 - les substances artificielles tels les pesticides, les herbicides, les phénols, le chlore, les BPC ou les composés organiques peuvent se retrouver dans l'eau. Ces polluants sont les plus inquiétants car beaucoup d'entre eux sont encore presque inconnus pour la science. Sauf quelques grandes usines qui utilisent l'ozone ou le charbon activé,

les usines de traitement de l'eau ne sont pas conçues pour les éliminer. Ces composés organiques sont difficilement détectables, étant donné qu'il ne se présentent qu'en très petites quantités solubles dans l'eau, soit de l'ordre du microgramme (Lemay, 1988).

### 2.1.3 Qualité de l'eau de consommation

Il fut un temps où plusieurs personnes étaient terrassées par des maladies transmissibles par l'eau de consommation. Depuis, grâce aux méthodes de désinfection par le chlore et au contrôle strict des usines de filtration d'eau potable, en Amérique du Nord, en Europe et ainsi que dans certains autres pays, on a réussi à éliminer presque totalement les éléments nocifs véhiculés par l'eau.

C'est pourquoi la plupart des usines de filtration modernes fournissent une eau limpide et sans odeur, sauf celle du chlore. Par contre, la pollution chimique actuelle et sans cesse grandissante des eaux dépasse la capacité ou le pouvoir de traitement de la plupart des usines. On a déjà trouvé dans l'eau plus de 2 100 produits chimiques de sources artificielles, même si

ceux-ci se trouvaient en très faibles quantités, et la liste s'allonge encore. De plus, les normes actuelles ne touchent qu'une centaine de ces substances suspectes (Lemay, 1988). Par contre, il ne faut pas oublier que les grandes usines de filtration de Montréal et de Laval procèdent à l'analyse routinière de plusieurs de ces substances chimiques.

Quoi qu'il en soit, le choix de posséder un purificateur ainsi que le type d'appareil est laissé au choix du consommateur. Certains purificateurs au point d'utilisation peuvent, selon l'opinion du consommateur, être utiles dans les cas suivants:

1- si l'eau a mauvais goût
2- si l'eau provient d'un puits ou d'un service privé où il y a risque de contamination.
3- si on manque de confiance en l'eau de notre municipalité.

## 2.2 Description d'un appareil à rayons ultraviolets

### 2.2.1 Historique

Les effets germicides de la radiation des

rayons UV sont connus depuis plusieurs années. Une des premières découvertes conçernant ses effets bactéricides fut fait par Downes et Blunt en 1877. En observant l'effet de la lumière solaire sur une population de microorganismes, ils concluaient que la radiation à courtes longueurs d'ondes était responsable de la destruction microbienne.

La lampe à vapeur de mercure représentant les lampes UV utilisées aujourd'hui fut développée par Hewitt en 1901, suivi de l'introduction d'une gaine de quartz pour minimiser les effets de la température (section 2.2.4.2).

Les recherches subséquentes ont couvert:

1900 - 1930: les régions d'irradiation UV produisant une efficacité germicide optimum;

1930 - 1940: acceptation généralisée de lampes à vapeur de mercure à faible pression; amélioration de la technologie;

1960 - 1970: travaux de démonstration de l'application de l'énergie UV pour la désinfection des eaux usées;

1970 - 1976: recherches de base sur la

configuration des réacteurs UV (mince film);

1976 - 1980: démonstration de l'efficacité de la désinfection UV dans les différents effluents;

1980 - 1984: aspects économiques de la désinfection UV;

1984 - 1985: cinétique du procédé; développement d'un modèle pour évaluer l'intensité, les effets de l'hydraulique sur la conception, les effets de la qualité de l'effluent sur la performance de la désinfection;

1985 - 1986: efficacité et aspects économiques de la désinfection UV des eaux usées; développement d'un modèle incluant les effets hydrauliques, le taux d'inactivation en fonction de l'intensité du système et le taux d'occlusion bactérienne dans les particules en suspensions.

Les rayons ultraviolets (UV) ont la propriété

de désinfecter l'eau en tuant les microorganismes. Le traitement avec les rayons UV ne nécessite aucun produit chimique et ne modifie aucunement le goût de l'eau; il agit rapidement et le matériel ne requiert que peu d'entretien; les changements de débits, pourvu qu'ils restent dans les limites prévues par le constructeur, ne présentent aucun problème; le surdosage, loin de constituer un danger est même considéré comme une mesure de sécurité (Santé et Bien-être social Canada, 1979).

Pour que ces appareils soient efficaces, il est essentiel que l'eau soit limpide et ne contienne pas plus de 0,3 $mg.L^{-1}$ de fer. Sinon, les solides en suspension pourraient empêcher les rayons d'atteindre tous les microorganismes. Pour la même raison, la lampe doit être gardée bien propre et être renouvelée en cas de déffectuosité. Souvent, l'utilisation d'un filtre d'au moins 5 microns est fortement recommandé avant la désinfection.

### 2.2.2 Équation mathématique.

Les purificateurs d'eau à rayons UV possèdent une lampe à vapeur de mercure à basse pression dont environ 85 % des radiations émises se situent aux alentours de 253,7 nm, comme l'indique la figure 1 sur le spectre électromagnétique.

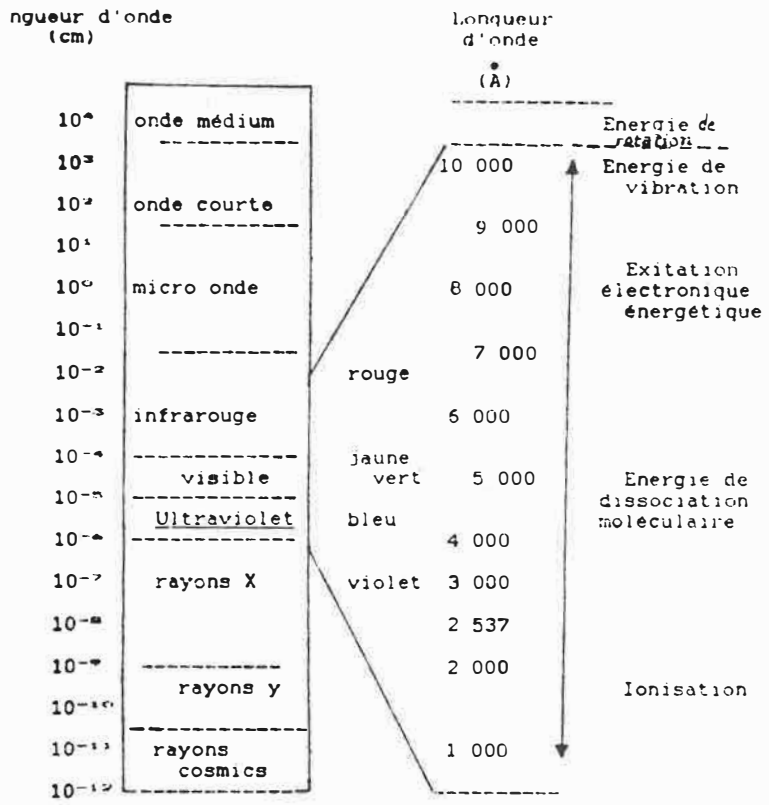



Figure 1. Le spectre électromagnétique (Huff et al., 1965).

Ainsi, dans ce système, l'eau passe avec un certain débit et est soumise à l'action des radiations ultraviolettes de la lampe. Plusieurs facteurs peuvent affecter la désinfection par les rayons UV, mais les principaux sont l'intensité et le dosage, la qualité des eaux à désinfecter ainsi que l'espèce de microorganismes à éliminer. Nous expliquerons donc le dosage nécessaire pour que la lampe puisse produire son effet germicide, déterminé par l'effet synergique de l'intensité dans le temps.

L'inactivation bactérienne dépend premièrement du dosage et non de l'intensité seule (Kantardjieff, 1986).

L'équation reliant le taux d'inactivation à la dose d'inactivation est la suivante:

$N = N_o \exp^{-Et/Q}$ où

N désigne le nombre de bactéries qui survivent au traitement

$N_o$ le nombre de bactéries avant le traitement

E est l'intensité des radiations ultraviolettes

t est le temps d'exposition

et Q est l'exposition exprimée en fonction d'une unité d'exposition létale.

Note: Dans le cas de E. coli dans l'eau, ce taux d'exposition (Q) prend une valeur de 40 $\mu W.min^{-1}.cm^{-2}$.

Le tableau 2 représente les dosages requis pour inactiver 90 % à 100 % de types différents d'organismes par l'irradiation UV (Ontario Ministry of the Environment, 1978).

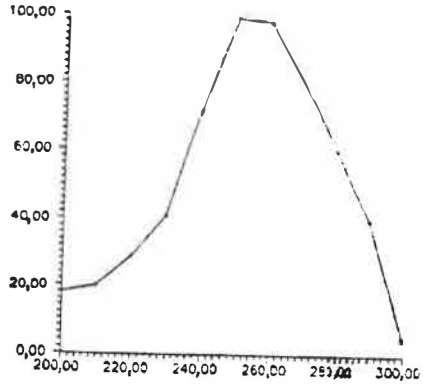
Tableau 2. Dose requise pour inactiver différents organismes (Kantardjieff, 1986).

| Dose totale $\mu W.s^{-1}.cm^{-2}$ | Type d'organisme |
|---|---|
| 400 000 | Algues bleues et vertes |
| 200 000 | Paramicium |
| 90 000 | Penicillium digitatum |
| 40 000 | Oeufs de nématodes |
| 15 000 | S. typhimurium |
| 10 000 | Pseudomonas aeruginosa |
| 9 000 | Clostridium Tetani |
| 8 000 | Bacillus anthracis; Neisseria ctetrrhalis |
| 7 000 | Escherichia coli; Salmonella typhosa |
| 6 500 | Choléra |
| 6 000 | Bactériophage (E. coli); Corynabacterium diphtheriae; Jaunisse infectieuse; Poliomyélite |
| 5 000 | Streptococcus hemolyticus |
| 4 000 | Streptococcus pyogenes; bacille de la dysentrie, Typhoide |
| 3 000 | Streptococcus viridans; Influenza |

Dans le spectre électromagnétique, la bande de lumière comprise entre 250 et 265 nm a souvent été appelée "germicide" parce que les rayons UV dans cette région sont létaux pour les microorganismes, en produisant des modifications structurales du matériel génétique, soit l'ADN ou l'ARN des cellules. Les photons émmis par irradiation affectent donc la reproduction ainsi que plusieurs autres fonctions vitales des cellules, pouvant entraîner leur mort (Walter, 1980). Il est important de noter que l'irradiation aux rayons UV n'est pas une méthode de stérilisation complète et une destruction de 100 % est pratiquement impossible.

Les lampes à vapeur de mercure de faible pression sont par conséquent, une excellente source d'énergie germicide, car ils émettent une longueur d'onde optimale de 253,7 nm. Le spectre d'absorption de l'ADN, montré à la figure suivante, indique une efficacité maximale entre 250 et 265 nm (Water Pollution Control Federal, 1986).

Efficacité des rayons UV en %




Longueur d'onde(nm)

Figure 2. Efficacité germicide relative de l'énergie d'irradiation.

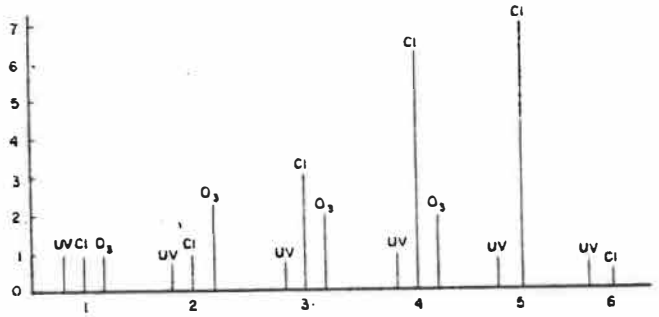
### 2.2.3 Dosage des rayons UV pour inactiver les microorganismes

En 1975, le Departement of Health, Education and Welfare a fourni une norme en fixant une dose minimum de radiations ultraviolettes de 16 000 $\mu W.s^{-1}.cm^{-2}$ à 253,7 nm et ce, en tout endroit dans la chambre de désinfection. Cette suggestion est une norme de sécurité d'environ 2,2 fois la quantité de dosage nécessaire pour inactiver E. coli ainsi que certains organismes pathogènes entériques (Tobin et al., 1983). Quelques organismes demandent une dose plus forte mais qui est pratiquement impossible de retrouver dans une eau potable préalablement désinfectée.

### 2.2.4 Potentiel des UV comme pouvoir désinfectant

#### 2.2.4.1 Position par rapport aux autres désinfectants

Il a été démontré que la radiation UV était plus efficace pour l'inactivation des virus que le chlore ou l'ozone. La figure 3 représente l'efficacité relative de cette méthode par rapport aux autres moyens de désinfection.




EFFICACITE RELATIVE DES UV

1. ESCHERICHIA COLI
2. SALMONELLA TYPHOSA
3. STAPHYLOCOCCUS AUREUS
4. POLIO TYPE 1 VIRUS
5. COXSACKIE AZ VIRUS
6. ADENOVIRUS TYPE 3

Figure 3. Efficacité relative par rapport aux autres désinfectants (Kantardjieff, 1986).

De plus, l'utilisation de chlore ou d'ozone demande des quantités assez considérables de ces produits, afin de désinfecter et de minimiser les composés tels que l'ammoniac, l'acide humique, les phénols, le fer, etc; ceci demande des quantités de chlore et d'ozone assez importantes. Il ne faut pas oublier qu'un changement soudain dans la composition chimique et bactériologique de l'eau demande parfois un réajustement de la dose de désinfectant. Ceci implique une mesure constante des résidus, du chlore et de l'ozone afin de respecter les normes. Contrairement au surdosage de chlore, un excès de radiations ultraviolettes n'entraîne pas de conséquences sur le goût ou de risques immédiat pouvant affecter la santé. Aussi, l'efficacité du chlore et de l'ozone sont fonction du pH et de la température, entraînant ainsi une variation dans le taux de désinfection, tandis que l'irradiation n'est pas dépendant du pH et de la température ce qui en constitue les principaux avantages.

Tableau 3. Comparaison entre les trois méthodes de traitement (Yip et Konasewich, 1972).

| Effet | U.V. | Ozone | Chlore |
|---|---|---|---|
| pH | Non | Modéré | Oui |
| température | Non | Modéré | Oui |
| résidue | Non | Dépend du pH | Oui |
| temps de contact | Non | Oui | Oui |
| équipement | Peu | Modéré | Modéré |
| fer dissous | Oui | Oui | Oui |
| phénol, acide humique | Oui | Oui | Oui |

2.2.4.2 Les lampes au quartz

La température de fonctionnement optimal d'une lampe à mercure est estimée à 40°C. A des températures inférieures le rendement se retrouve réduit. Par exemple, le rendement d'une lampe qui fonctionne à 5°C en émettant des radiations à 253,7 nm est de 20 % inférieur à celui d'une lampe qui fonctionne à 40°C. Pour cette raison, les lampes à lumière ultraviolette utilisées pour la désinfection de l'eau possèdent une gaine de quartz. La lampe se retrouve aussi a une certaine distance afin d'éviter tout refroidissement (Yip et Konasewich, 1972).

### 2.2.5 Sources d'interférences

Vu la principale fonction des radiations et de la dose necéssaire d'irradiation, étant basé sur le phénomène de la transmittance ou de l'absorption des substances chimiques ou biologiques, la composition de l'eau s'avère très importante. Ainsi la présence dans l'eau de MES ou d'une coloration, de fer dissous et de composés organiques peuvent modifier le rendement de la lampe.

La turbidité des eaux nuit et même empêche la désinfection par les UV. Avec les lois de la photochimie, l'énergie ou la longueur d'onde qui est captée et qui tue une bactérie est celle qui est absorbée par l'organisme (Kantardjieff, 1987). Donc, l'agglutination de microorganismes, la présence de particules qui protègent ceux-ci contre les rayons et l'absorption des radiations réduiraient l'efficacité du purificateur. Quant au fer, il peut se déposer sur la lampe ou sur la gaine de quartz qui l'entoure et nuire à la pénétration des rayons dans l'eau (Santé et Bien-être social Canada, 1979).

### 2.2.6 Limitations

Les limites de ces appareils se retrouvent surtout au niveau des interférences, soit lors d'une population excessive de bactéries dans l'eau qui contient plus que 1 000 coliformes par 100 mL, lors de la présence de protozoaires parasites tels Giardia lamblia et Entamoeba hystolitica qui sont facilement enlevés avec un préfiltre de moins de 5 micromètres, ainsi que la présence de turbidité, de couleur, de fer ou de composés organiques, qui sont les principales limites de ces appareils. Pour notre étude, l'eau provient du réseau d'alimentation en eau potable de Laval. Toutes ces limites sont très réduites, étant donné que les éléments mentionnés plus haut ne se retrouvent pas dans le système de distribution (Ministry of the Environment, 1986).

### 2.2.7 Installation d'un système d'alarme lors d'une défectuosité

Même si les appareils à rayons UV semblent fiables à prime abord, sous certaines conditions, il semble évident que ces appareils ne soient pas infaillibles et doivent par conséquent être munis d'un système d'alarme couplé au moniteur de la lampe UV. Cette alarme, mesurant la dose de désinfectant, donnerait un

avertissement lors d'une défectuosité, soit en émettant un son ou une lumière quelconque, ce qui, par le fait même arrêterait l'appareil de désinfection lorsque la dose émise serait inférieure à 16 000 $\mu W.s^{-1}.cm^{-2}$. Ceci s'applique également dans le cas du vieillissement de la lampe.

Le rendement énergétique d'une lampe neuve décroît d'environ 20 % au cours des 100 premières heures de fonctionnement. Par la suite, la puissance diminue de façon graduelle pour atteindre environ 70 % de sa valeur initiale après une durée de vie normale de 7 500 heures (Santé et Bien-être social Canada, 1977).

Afin de mesurer la dose, selon Yip et Konasewich (1972), on doit reconnaître deux fonctions aux dosimètres physiques i.e aux systèmes d'alarme. Premièrement, la mesure de la diminution relative d'intensité de la lumière ultraviolette au point d'incidence avec l'eau ($I_o$) causée par le veillissement de la lampe ou par les dépôts sur la gaine de quartz, et deuxièmement, la vérification du pourcentage de transmission (% T) à 253,7 nm, dans la chambre d'irradiation où % T = $I(I_o x100)^{-1}$. Dans le cas de la première fonction, il existe un rapport linéaire entre la dose et la lumière incidente, tandis que le deuxième cas indique la dépendance entre la dose et le % T n'est pas

nécessairement linéaire en raison de la turbulence de l'eau.

La majorité des purificateurs d'eau potable domestiques, aux radiations ultraviolettes, équipés d'un dosimètre ne mesurent que la lumière transmise (I) à travers l'eau; c'est pourquoi il y a un rapport non linéaire entre la dose et le pourcentage d'absorption.

## 2.3 Le filtre au charbon activé granulaire (CAG)

La plupart des filtres au charbon activé se retrouvent sous forme granulaire. Ayant une structure à base de carbone, ils servent à réduire par adsorption certains composés indésirables dans l'eau. Aussi, en possédant une capacité déterminée de filtration, ou d'adsorption, ces filtres doivent être régénérés ou remplacés périodiquement.

Dans le traitement de l'eau potable au point d'utilisation, le charbon actif a d'abord été utilisé pour éliminer les goûts et odeurs et aussi comme agent de déchloration. On propose maintenant son utilisation pour l'enlèvement des particules et de composés organiques spécifiques soupçonnés d'être nuisibles à la santé publique. De même, il réduit les précurseurs des

trihalométhanes, les composés halogénés, les déchets chimiques, la matière organique et même certains métaux lourds (Cotruvo et Vogt, 1984; Rozelle, 1987).

### 2.3.1 Macropores et micropores

Chaque granule de charbon est parsemé de conduits microscopiques que l'on nomme micropores. L'espace entre les granules nous donne la dimension des macropores. La porosité est définie comme étant le volume des vides dans ce matériau divisé par le volume total occupé par le matériau (Desjardins, 1988). Selon le schéma suivant, on remarque que les petits conduits et tunnels emprisonnent les contaminants au passage de l'eau. Le charbon activé tire son nom du traitement qu'on lui fait subir pour se débarrasser de ses impuretés et ainsi pouvoir exposer ses pores pour l'adsorption (Lemay, 1988).

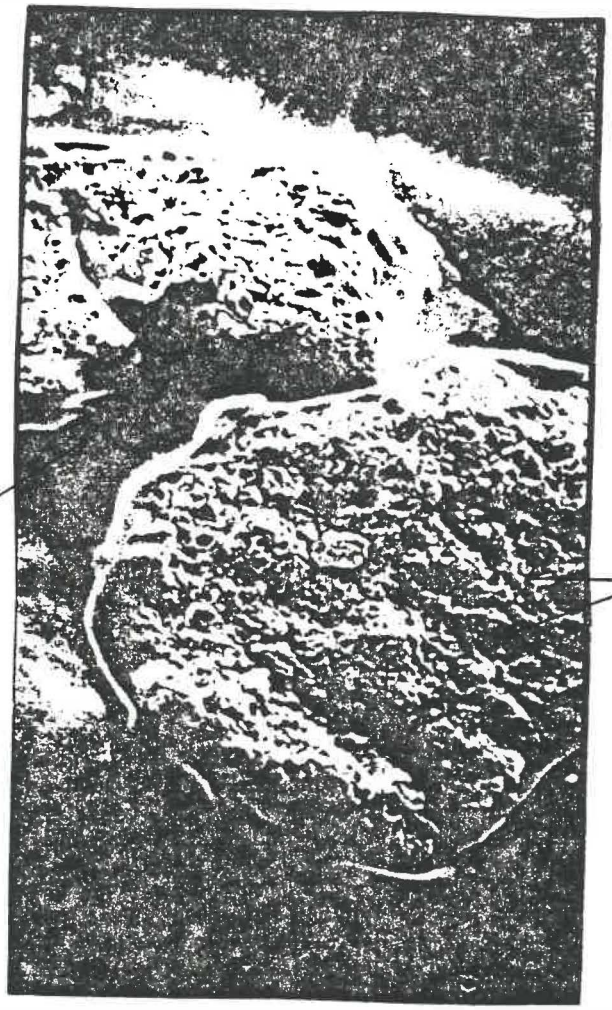



Figure 4. Particules de charbon activé au microscope électronique 60x (Cairo et al., 1979).

L'efficacité pour l'élimination des goûts, des odeurs des substances colorantes, de la matières organique, etc, dépend en partie des dimensions du lit de charbon, de même que de la nature, de la forme du charbon actif utilisé ainsi que de la conception mécanique du filtre. Par exemple, la quantité totale de charbon doit

être suffisante pour éviter une saturation trop rapide. De plus, il est essentiel que l'eau se répande partout et qu'elle ne puisse pas se frayer un chemin en ligne droite entre les particules de charbon. Le débit doit être assez lent pour assurer un bon temps de contact.

Ces filtres peuvent avoir une durée prolongée ou courte selon qu'ils servent à l'élimination du chlore ou d'autres matières respectivement.

### 2.3.2 Adsorption

Comparativement aux autres méthodes, l'adsorption par le charbon activé est le plus efficace pour la fitration au point d'utilisation afin de réduire les contaminants organiques. Cependant, les composés organiques ne sont pas tous adsorbés de façon équivalente. La capacité d'adsorption (milligramme de contaminant organique par gramme de charbon activé) pour différents composés a été publiée par Dobbs et Cohen (1980).

#### 2.3.2.1 Mécanismes d'adsorption

Le degré d'adsorption d'un charbon repose sur sa surface spécifique; plus les grains de charbon sont petits et poreux, plus l'adsorption par unité

de poids de charbon sera grande (Weber, 1972). La structure du réseau poreux joue également un rôle important dans la cinétique d'adsorption d'un soluté. Deux stages d'adsorption distincts furent observés lors d'études d'équilibre d'adsorption de la matière organique (Peel et Benedek, 1980). On remarque que dans la première phase d'adsorption, la capacité du charbon atteint de 50 à 80 % d'utilisation en quelques heures. La capacité restante s'épuise ensuite très lentement. Ce même modèle cinétique d'adsorption est observé pour l'enlèvement de la matière organique dans les colonnes de charbon actif granulé à la différence que la fin du premier stade s'obtient après quelques mois de fonctionnement. Ces deux stades d'adsorption sont attribués aux différentes structures de pores dans le grain du charbon actif, soit les macropores et les micropores.

Dans les macropores, le taux de diffusion des molécules n'est pas gêné par les parois poreuses alors que les micropores ont un rayon de dimension comparable aux composés qui s'y déplacent. Le taux de diffusion des molécules y est considérablement réduit à cause de la proximité des parois et des forces multidirectionnelles d'adsorption. Ainsi, l'enlèvement de la matière organique et l'adsorption rencontrés au début sont associés aux macropores alors que le lent équilibre est attribué aux

micropores, soit le stade du pseudo-équilibre (Letendre, 1987).

2.3.2.2 Le phénomène de relargage

Le phénomène de relargage ou de désorption arrive lorsque l'on retrouve plus de composés organiques à l'effluent qu'à l'affluent. Dans le cas où l'utilisation du CAG se retrouve au point d'utilisation à usage domestique, le phénomène de relargage provient le plus souvent lors d'une prolifération bactérienne intense (section 2.3.3.1, page 34).

2.3.2.3 Efficacité d'enlèvement générale

Selon des études faites par Geldreich et al. (1985), l'efficacité au début du filtre enlève le chlore organique chimique de 60 à 80 % de l'affluent, tandis qu'au bout de 6 à 8 semaines le même filtre n'adsorbait plus que 10 %, le reste du chlore organique passait alors directement à travers ce dernier.

En général, on ne retrouve dans les eaux potables qu'une très faible quantité de COT. Ainsi lorsqu'à l'affluent du purificateur, selon cette même étude, l'eau contient moins de 2 $mg.L^{-1}$, à l'effluent de la

plupart des filtres domestiques on retrouve entre 0,1 $mg.L^{-1}$ et 0,3 $mg.L^{-1}$ de COT. Par contre au bout de 2 à 4 semaines l'efficacité d'adsorber les COT est nul.

Aussi, selon les observations de Geldreich et al. (1985) seulement 8 sur les 30 appareils au filtre de charbon actif réduisaient plus de 70 % les THM, et que seulement 2 sur les 30 réduisaient le carbone organique de plus de 50% (Perry et al., 1981).

L'enlèvement des composés organiques halogènes varie entre 6,5 % et 99 %; tout dépend si ceux-ci proviennent des eaux de surface ou souterraine.

L'adsorption du chlore était généralement excellente. Pendant plusieurs mois toutes les saveurs et odeurs étaient éliminées, mais seulement lorsque le niveau de chlore résiduel libre dans l'affluent était de moins de 10 $mg.L^{-1}$ (Geldreich et al., 1985).

L'efficacité d'enlèvement ou d'adsorption dépend de l'eau traitée, du volume d'eau qui passe dans le filtre, de la quantité de CAG et de la température (section 2.3.4.1, page 39).

### 2.3.3 Capacité de filtration des microorganismes

#### 2.3.3.1 Bactéries et prolifération

La plupart des bactéries sont captées lors de la filtration. Ces dernières, ayant une vaste variété de dimension, il est préférable que le filtre au charbon activé soit précédé d'un préfiltre d'au moins 0,5 micromètre afin de minimiser la saturation du charbon et aussi pour diminuer la prolifération bactérienne de plus de 0,5 micromètre.

Le charbon, étant un milieu propice à la prolifération des bactéries, certaines d'entre elles ayant toute la nourriture désirée peuvent coloniser très rapidement un filtre lorsque l'eau demeure stagnante dans l'appareil. De fortes teneurs en microorganismes dans l'effluent s'en suivent, principalement lors du soutirage initial d'eau suivant une période de stagnation.

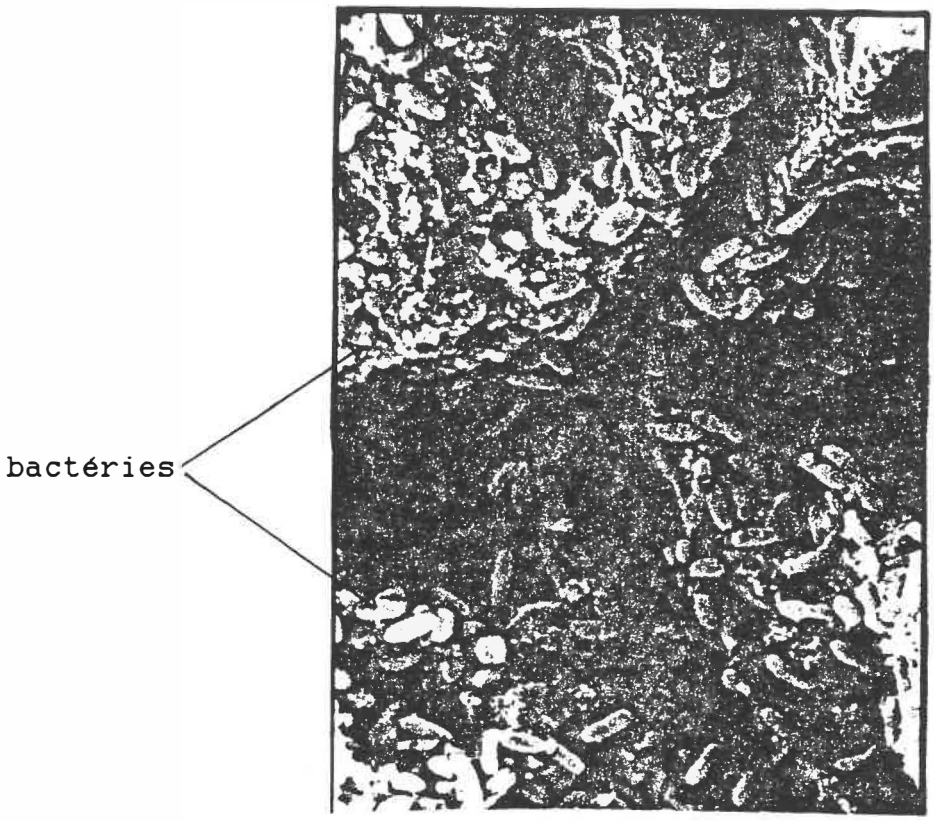



Figure 5. Prolifération bactérienne sur charbon activé démontré avec un microscope électronique 4000x (Cairo et al., 1979).

Il faut souligner aussi que les bactéries, lorsqu'elles ne sont pas en surnombre, ne nuisent pas nécéssairement à l'adsorption de la matière organique.

La plupart des bactéries colonisatrices, ne sont pas forcément pathogènes c'est-à-dire nocives pour la santé, à moins qu'elles ne proviennent d'une contamination fécale ou autre. Dans les eaux potables provenant d'une usine de traitement on retrouve exceptionnellement ces

microorganismes, c'est pourquoi ils colonisent très peu les appareils au charbon activé domestiques qui traitent les eaux. Par contre, pour plus de sécurité, lors de l'utilisation de charbon, il est important de vidanger ou de purger le filtre avec un écoulement assez rapide d'au moins 30 s avant d'en prendre pour fins de consommation (Rozelle, 1987). Cette prolifération est d'autant plus intense lorsque le CAG contient de l'air de surface (Reason et al., 1987).

Des tests sur plusieurs robinets provenant d'appareils couplé d'une osmose inverse et d'un filtre au CAG effectués à Emington, conçernant la prolifération bactérienne, indiquait selon le dénombrement sur plaque, que les bactéries provenant des robinets non purgés contenaient à l'effluent plus de 2 logs de bactéries de plus qu'a l'affluent. Cette croissance était bel et bien attribuée au CAG localisé avant le robinet et avant l'osmose inverse qui sert pour l'enlèvement de la matière inorganique (Rozelle, 1987).

Pour enrayer cette prolifération, plusieurs chercheurs ont essayer un agent bactériostatique tel l'argent dont serait imprégné le filtre au CAG. Par contre, l'efficacité bactériostatique n'est pas prouvé comme étant rentable à 100 % sur tous les types de bactéries. Ainsi,

selon Reasoner et al., l'efficacité bactériostatique est très sélective parce que certaines bactéries sont sensibles à l'argent et d'autre pas. Comme exemple, les bactéries hétérotrophes, selon leurs tests, ne sont pas affectés étant donné qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombres de colonies provenant des filtres à l'argent ou pas. Pour les coliformes fécaux, il est bien connu que l'argent possède un effet d'inhibition sur ces derniers. Dans la bibliographie, publié depuis 1960 dans Cambers and Protor's Paper, il démontre qu'Escherichie coli est rapidement tué par une faible quantité d'argent (Chang, 1971). Aussi Reasoner et al. (1987) ont constaté lors de la mise sur plaque de gélose, que les colonies provenant du filtre au CAG imprégné d'argent étaient beaucoup plus petites. Mais l'efficacité bactéricide de l'argent dans les filtres au CAG domestiques est assez limitée. D'autres tests ont prouvé son inefficacité lors de plusieurs expériences dont les deux tièrs des filtres imprégnés d'argent contenaient significativement plus de colonies de bactéries que les autres filtres sans argent.

Il semble intéressant de noter que la croissance bactérienne dépent aussi des eaux oligotrophiques c'est-à-dire faible en substances inorganiques. Elle est aussi limitée par la quantité de nourriture, par la compétition interspécifique et

intraspécifique, ainsi que par la conception de l'appareil tel le débit, la compaction, la quantité d'air logé entre les pores, etc. La température a aussi un effet important; à basse température soit 1 et 4°C, l'activité des bactéries mésophiles est grandement diminuée, et par le fait même, leur prolifération.

#### 2.3.3.2 Virus, kystes et bactéries pathogènes

Les virus et les kystes entériques sont des microorganismes qui, contrairement aux bactéries, ne se multiplient pas dans l'environnement. C'est ce qui explique leur nombre très restreint dans l'eau potable et même dans les prises d'eau ulilisées par les services municipaux. Les virus sont trop petits pour être enlevés par simple filtration, mais leur réduction par chimisorption est possible (Regunathan et Beauman, 1987).

Les kystes sont inertes dans les filtres, ayant aucune capacité de mouvement et de reproduction, ils sont enlevés par le CAG comme les particules en suspensions, donc par simple filtration. Avec un appareil possédant un préfiltre de 0,5 micromètre, ils sont filtrés à plus de 99,9 % (Rozelle, 1987).

Les bactéries pathogènes, de sources entériques en provenance de l'eau, ne sont pas supposées se retrouver dans le réseau de distribution en provenance d'une usine de purification. Les bactéries pathogènes sont en général en petit nombre dans l'eau et sont très peu résistantes à toutes formes de désinfection. Santé et Bien-être Canada (1977) recommande d'utiliser le CAG comme appareil de purification domestique dans les endroits sécuritaires où on risque qu'une contamination bactérienne soit pratiquement nulle.

### 2.3.4 Capacité de filtration des métaux et produits chimiques

#### 2.3.4.1 Études antérieures

L'enlèvement de la matière inorganique des filtre au CAG n'est pas très élaboré. Les appareils à osmose inverse par contre se perfectionne dans ce domaine (Tableaux A1 et A2). Le CAG adsorbe des composés bien spécifiques telles les substances chimiques en solution aqueuse. Les caractéristiques chimiques de la substance à être adsorbée auront également un rôle important dans l'efficacité de l'enlèvement à l'aide du charbon actif. Plus le composé est non polaire et de poids moléculaire élevé plus il est facilement adsorbable (Weber,

1972).

Ainsi, le CAG est surtout reconnu pour l'adsorption des dérivés du chlore, qui donne des goûts et odeurs désagréables pour le consommateur. Par le fait même, il est à considérer pour la réduction des THM (Tableaux A3 à A5). Le CAG adsorbe aussi les dérivés halogénés organiques et certains autres contaminants chimiques.

Peu d'études ont été entreprises afin de connaître la capacité d'adsorption des métaux toxiques.

#### 2.3.4.2 Effets synergique et compétitif

On doit spécifier que la compétition de la solution influence également l'adsorption des composés spécifiques. La grande variétés de composés organiques et d'ions présents dans l'eau naturelle forme un système hétérogène. Et là, plusieurs phénomènes complexes d'adsorption compétitive et synergique peuvent se produire. Par contre, plusieurs tests effectués jusqu'à ce jour n'incluent que l'effet d'adsorption dans le CAG sur un unique composé. Selon Feissenger et Richard (1975), la capacité d'adsorption d'un CAG pour un composé spécifique

peut chuter de 26 à 39 % lorsque la solution contenant le composé est de l'eau du réseau plutôt que de l'eau distillée.

Tebbutt et Bahiah (1977) ont publié une étude sur l'adsorption des matières organiques généralement présentes en faibles concentrations dans les eaux brutes et dans les eaux d'égouts traitées par le charbon activé. Ils ont souligné que, lorsqu'on analysait des mélanges de composés ayant différentes caractéristiques d'adsorption, la courbe isotherme démontrait une adsorption inefficace. Ainsi, on peut s'attendre à ce que l'efficacité de l'extraction au charbon activé varie en fonction de la concentration et de la nature des matières organiques présentes dans l'eau, donnant un effet soit de synergie sur certaines substances soit compétitive ou antagoniste sur d'autres.

#### 2.3.4.3 Durée de vie du CAG

La vie d'un filtre au CAG se prolonge aussi longtemps qu'il n'est pas saturé par les composés organiques dont l'eau est constituée et où il s'effectue une grande diminution dans la capacité d'adsorption (Rozelle, 1987). Les calculs pour étudier la vie d'un CAG sont utilisés seulement dans quelques livres

de références.

Le temps d'efficacité du CAG dépend donc de la mixture de tous les composés dont le filtre aura la capacité d'adsorber et de désorber. Il ne faut pas oublier que cette capacité pour la durée de vie d'un CAG est significativement différente du calcul de l'adsorption d'un simple composé (Rozelle, 1987; Santé et Bien-être social Canada, 1977).

#### 2.3.4.4 Sources d'interférences

Les conditions physico-chimiques de la solution joue également un rôle dans le comportement d'un système de charbon actif. La diminution du pH a une influence considérable sur l'augmentation de l'adsorption des polluants organiques de l'eau. Par contre les variations de température ont en général très peu d'effet sur la capacité d'adsorption du CAG lors de la filtration de l'eau potable ou de l'eau usée (Weber, 1972).

Comme expliqué précédemment, la turbidité provenant de la prolifération bactérienne ainsi que les substances inorganiques influencent grandement le mécanisme d'adsorption du filtre au CAG. Ainsi, Santé et Bien-être social Canada (1979) recommande l'utilisation des appareils au CAG domestique, dans les endroits où l'eau ne contient pas plus de 500 $mg.L^{-1}$ de matières en suspensions.

2.3.4.5 Limites d'efficacité du CAG

Pour être efficace, le CAG doit être en mesure de répondre aux conditions suivantes;

1- les appareils ne doivent pas être utlisés sans que l'eau n'ait subi une désinfection au préalable, afin de respecter la norme microbiologique indiquée dans le Guidelines for Canadian Drinking Water Quality (1980), le Ontarian Water Objectives, et le Canadian Water Filter Industry Voluntary Guidelines for Carbon Water Filter Advertising and Promotional Claims of the Water Quality Association (1986);

2- les appareils imprégnés d'argent ne doivent pas excéder plus de 0,05 $mg.L^{-1}$ d'argent à l'effluent, selon les recommandations et les objectifs mentionnés dans les références ci-haut;

3- le vendeur doit donner à son client le temps de vie ainsi que le débit maximal que son appareil peut traiter. L'appareil devra répondre aux besoins des consommateurs en enlevant soit le chlore, les pesticides, herbicides et autres produits chimiques susceptibles de se retrouver dans l'eau;

4- chaque étiquette et chaque titre promotionnel provenant du manufacturier devront être conformes aux normes énoncées aux références déjà mentionnées.

Lorsque le charbon activé se trouve en présence de l'eau non traitée, il devra être utilisé avec un appareil de désinfection installé au point d'utilisation, spécialement lorsque l'eau contient des espèces pathogènes connues. Cette eau devra être désinfectée avant d'être filtrée par le CAG.

Lorsque l'eau est trop turbide, le CAG perd rapidement de son efficacité. C'est pourquoi il est recommandé de changer fréquemment le filtre, selon les recommandations du fabriquant.

## 2.4 Règlements relatifs aux purificateurs.

En 1984, l'Environmental Protection Agency a publié les règlements suivants relatifs à l'eau de consommation:

1- donner au public un système de

traitement d'eau approprié;

2- spécifier les types de contaminants jugés nocifs pour la santé selon les règlements municipaux (Section 1401 [1], 42 USC 300g-1);

3- spécifier le niveau de contamination maximal et les méthodes de traitement appropriées pour ces éléments.

Les recommandations concernant le niveau maximal de contamination que l'on peut retrouver dans l'eau potable ne sont pas forcément imposées, celles-ci sont plutôt proposées pour assurer la santé publique. Ces concentrations sont proposées par l'administration, qui définit des normes assurant une marge de sécurité adéquate pour la santé publique.

En 1987, la règlementation fédérale des Etats-Unis exigée par la politique de l'EPA fut proposée pour modifier les règlements édictés en 1984. Ces règlements ont trait aux critères et aux procédures pour les appareils de traitement au point d'utilisation, et au point d'entrée (Greve et Fultz, 1987);

1- la teneur en contaminants de

l'eau traitée par ces appareils ne doit pas dépasser le niveau maximal requis;

2- le propriétaire est responsable de l'entretien de son appareil, selon les recommandations du fabricant;

3- un schéma d'installation de l'appareil devra être soumis et approuvé par l'EPA. Ce schéma devra inclure des informations pour assurer la protection du consommateur;

4- le montage de l'appareil devra être validé par l'état et une norme sécuritaire pour les microorganismes devra être maintenue à l'effluent. Il est nécessaire que le traitement au charbon activé soit suivi d'une post-désinfection, ainsi que d'une fréquence de vidange régulière de l'appareil;

5- afin d'assurer la protection du consommateur, l'Etat devra assurer pour chaque domicile un réseau de distribution adéquat, afin que la performance des appareils ne soit pas atténuée;

6- l'appareil approuvé par l'Etat devra assurer une protection constante de la santé du

consommateur, équivalente à celle du réseau d'eau potable.

## 2.5 Positions du public et du gouvernement

Le public a tendance à évaluer la qualité de l'eau de consommation uniquement à partir de critères subjectifs, dont le goût et la couleur, ou par l'information véhiculée par les médias. Une recherche a été effectuée par l'American Water Works Association Research Foundation. Un questionnaire téléphonique d'une durée de quinze minutes a été soumis à 1205 consommateurs choisis de façon aléatoire à travers les Etats-Unis. Il ressort de cette recherche que 87,4% des gens affirment que l'eau provenant de leur robinet est excellente; 9,1% considèrent que leur eau est de qualité inférieure à la moyenne; 2,5% pensent que leur eau est impropre à la consommation (Figure A1). Ces derniers utilisent soit de l'eau en bouteille, ce qui correspond à 3,69% de la population, 2,85% utilisent des appareils de traitement au point d'utilisation (Manwaring et al., 1986). Ces tests furent établis afin d'évaluer à quelle fréquence l'eau provenant du réseau de distribution est de qualité inférieure à la qualité moyenne, à partir de plaintes rapportées, concernant le goût et l'odeur de l'eau. En général, on retrouve plus de plaintes reliées au goût qu'aux odeurs.

En ce qui concerne le degré d'information des consommateurs face aux incidents survenant au réseau, 34% d'entre eux affirment qu'ils ont appris la nouvelle par la radio ou la télévision, 23,9% l'ont constaté selon leurs propres observations, 23,4% l'ont su par les journaux et 21% par les autorités locales (figure A2).

Environ 24% du public américain croit que l'eau potable contient des substances dangereuses pour la santé. Ces craintes sont augmentées à cause de données incomplètes sur ces substances, ce qui donne une vision pessimiste de la réalité. Selon un sondage effectué aux Etats-Unis (figure A3), qui demandait à des consommateurs de nommer des substances présentant un risque potentiel pour la santé, 38% d'entre eux nomment le chlore, 26,6% les substances organiques, le sodium et le fluor, et 36% n'ont aucune idée quant au type de substance qu'ils peuvent ingérer (Manwaring et al., 1986).

Malgré le fait que peu de gens, soit 2,5 % de la population, affirment que l'eau provenant du réseau doit être traitée, on retrouve des appareils domestiques de traitement dans 3 millions de foyers. Ceci démontre bien la volonté du public de vouloir payer pour obtenir une eau de meilleure qualité, présentant moins de risques pour la santé.

La position du gouvernement canadien face à l'amélioration de la qualité de l'eau potable penche en faveur des usines de traitement.

Le public a le droit d'être mieux renseigné sur la qualité de l'eau de consommation, sur les types de substances pouvant être rencontrées, leur temps de séjour dans l'eau, sur les risques et les effets de ces substances sur la santé, et pourquoi les traitements traditionnels ne peuvent les éliminer.

# CHAPITRE III- MATÉRIEL ET MÉTHODES

## 3.1 Description et fonctionnement de l'appareil de purification au point d'utilisation

D'une capacité de 9 litres, cet appareil peut fournir en eau de consommation une famille moyenne de quatre personnes pour une durée minimale de 2 jours. Sa fabrication est principalement à base de plastique (poly-carbonate), dont les propriétés physico-chimiques s'adaptent parfaitement aux conditions d'opération.

### 3.1.1 Description de l'appareil de traitement

Cet appareil de traitement n'est à ce jour qu'un prototype d'un montage préliminaire; la finition sera élaborée pour la mise en marché si ce purificateur remplit bien les normes pour la qualité de l'eau et de sécurité requises pour le consommateur.

Les dimensions de cet appareil sont d'environ 30 cm de large par 60 cm de haut par 45 cm de profondeur. La capacité de cet appareil est de 9 litres.

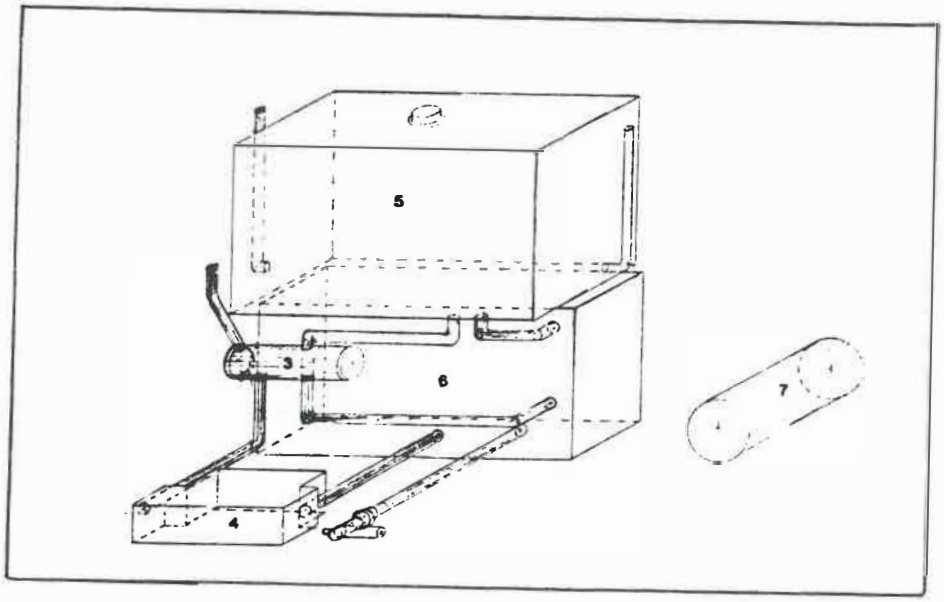
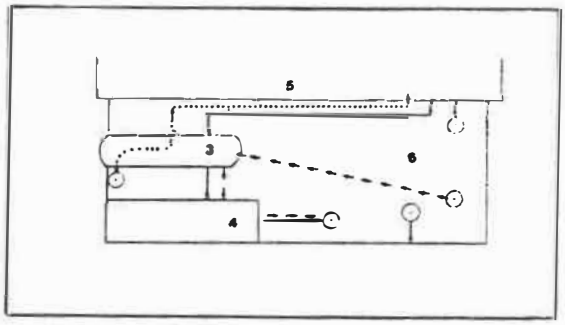



Figure 6. Devant du montage préliminaire de l'appareil de filtration d'eau potable domestique.




Légende: ———; trajet de circulation de l'eau lors de la prise d'eau;

-------; trajet de recirculation de l'eau pour le réservoir de réfrigération;

.....; trajet de recirculation pour le module de stockage.

Figure 6A. Trajet de circulation et de recirculation de l'eau dans l'appareil.

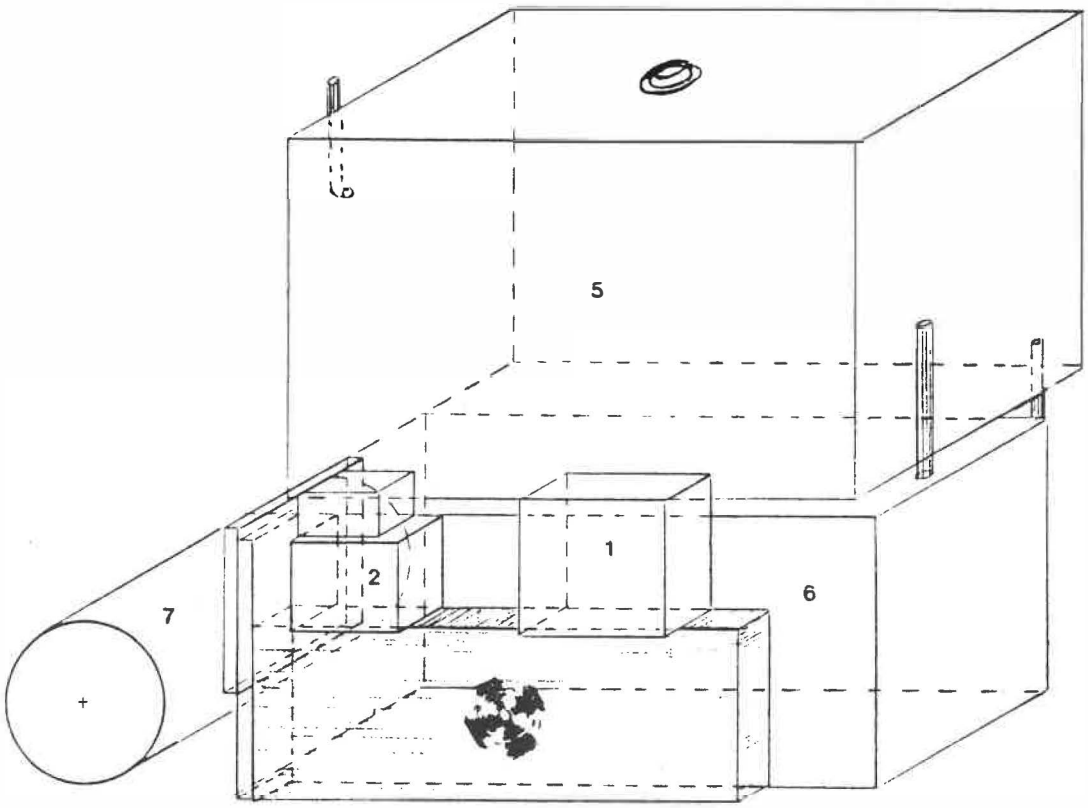



Figure 7. Arrière plan du montage préliminaire de l'appareil de filtration d'eau potable domestique.

L'appareil se divise en 7 parties;

1 - un module de réfrigération dont l'élément de base est un thermoélectrique. D'une capacité maximale de réfrigération de deux litres, ce module donne au consommateur la possibilité de régler la température de l'eau à son goût (figure 7);

2 - un module moteur incorporant les éléments de contrôle de l'appareil ainsi que les éléments de transformation du courant (figure 7);

3 - une lampe à rayons ultraviolets à gaine de quartz, d'environ 15 cm par 4 cm de diamètre, émettant une longueur d'onde avec un pic à 258 nm. Son intensité est d'au moins 16 000 $\mu W.cm^{-2}$ (Santé et Bien-Etre Social Canada, 1979). La lampe est entourée d'un ruban de collant noir adhésif, afin de protéger les utilisateurs présents en expérimentation sur l'appareil contre les irradiations des rayons UV (figure 6). Eventuellement, lors de la vente de cet appareil, la lampe n'aura plus besoin de ce ruban, étant donné qu'elle se retrouvera à l'intérieur du boitier de l'appareil;

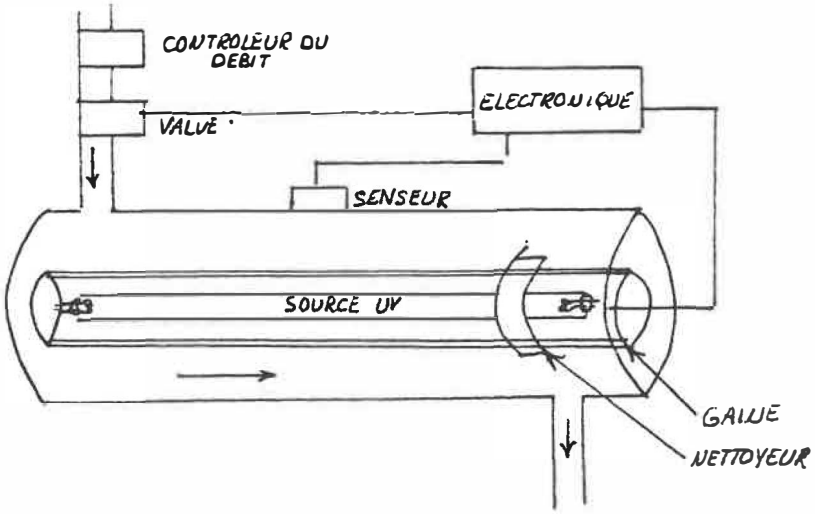



Figure 8. Schéma général d'une lampe aux rayons ultraviolets (Yip et Konasewich, 1972).

4 - un filtre au charbon activé granulaire à la noix de coco, en plastique opaque. Ce filtre se présente sous la forme d'une cartouche jetable que l'on insère dans la partie réfrigérée de l'appareil, diminuant ainsi la prolifération bactérienne. L'extrémité de la cartouche est munie d'adapteurs pour faciliter son remplacement. Ses dimensions sont de 20 cm x 2 cm x 5 cm. Ce filtre peut contenir au moins 40 grammes de charbon, ainsi que 2 filtres d'argent situés à l'entrée et à la sortie du filtre. Trois vis et une garniture de caoutchouc forment le joint d'étanchéité. La durée du filtre est évaluée à deux mois. Il devra donc être remplacé au moins 6 fois par année, d'où l'entretien nécessaire (figure 6);

5 - le module de stockage de l'eau se présente sous la forme d'un tiroir en plastique opaque diminuant ainsi l'entrée de lumière et empêchant la prolifération et la croissance d'algues dans ce réservoir. Ce tiroir peut contenir jusqu'à 7 litres d'eau. Cette eau ne sera pas réfrigérée, mais sera en recirculation en passant dans la lampe UV et en retournant dans ce même réservoir. Un bouchon fixé sous le réservoir sert au remplissage de l'eau (figure 6);

6 - le réservoir d'eau réfrigérée, situé au bas de l'appareil, peut contenir 2 litres d'eau. Celle-ci

est recirculée en passant de la cartouche au réservoir (figure 6A). Cette eau froide est ensuite distribuée pour la consommation. Ce type de réservoir est un système fermé dont l'entrée provient directement de l'eau filtrée de la cartouche et dont la sortie constitue le robinet tout au bas de ce réservoir. Le moteur du module de réfrigération est situé à l'arrière et à l'extérieur de l'appareil, qui risque de réchauffer la température de l'eau à l'intérieur du purificateur. C'est pourquoi le réservoir de réfrigération est entouré d'un isolant en mousse de styrène. Ce dernier est assez épais étant donné la grande quantité de chaleur produit par le moteur. Pour accentuer son efficacité, un ventilateur a été installé afin de dégager le plus rapidement cette chaleur;

7 - une pompe péristaltique pour permettre la recirculation de l'eau dans les réservoirs de stockage et de réfrigération.

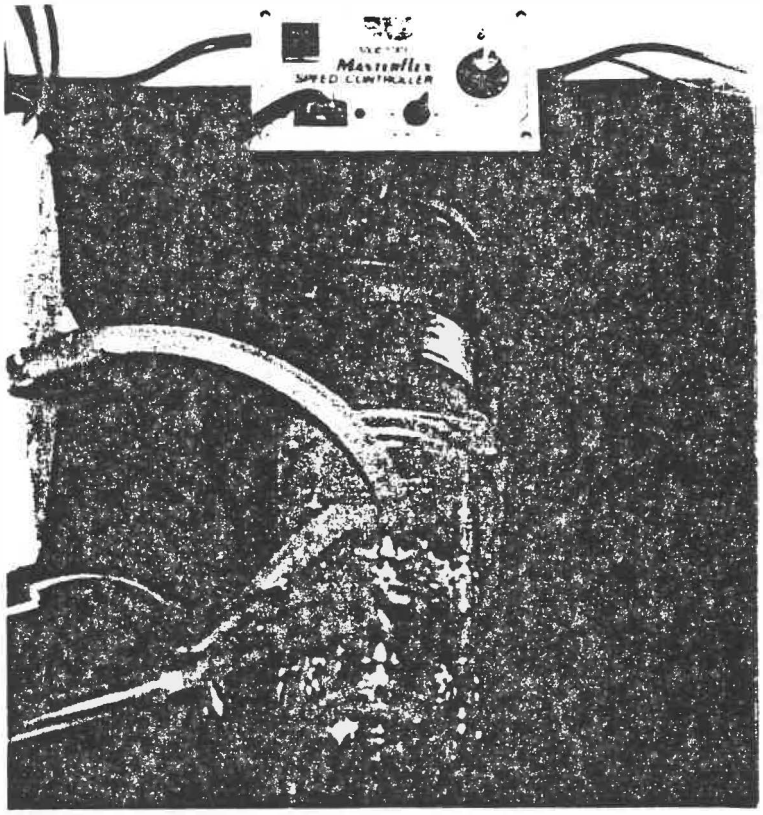



Figure 9. Type de pompe péristaltique utilisé.

### 3.1.2 Description des systèmes de circulation et de recirculation

A prime abord, il faut mentionner que le remplissage de l'appareil se fait manuellement, i.e. sans aucune connection préalable au robinet domestique.

Du module de stockage à la prise d'eau pour la consommation, le trajet de l'écoulement ou de la circulation de l'eau se fait comme suit; l'eau emmagasinée

dans le module de stockage s'écoule dans le tuyau en polypropylène jusqu'à la lampe UV; elle passe ensuite dans le filtre au charbon activé pour aboutir dans le réservoir de réfrigération et enfin sortir au robinet pour la consommation.

La recirculation se divise en deux sections: 1- le premier trajet de recirculation s'effectue dans la partie supérieure de l'appareil. L'eau sort du réservoir de stockage, pour se rendre jusqu'à la lampe UV et ensuite retourner au même réservoir. Ceci crée un brassage, en plus d'effectuer une désinfection dans le bassin du haut; ainsi l'eau ne demeure pas stagnante. Tout ceci s'effectue au rythme de 1 litre par heure, calculé au niveau des tuyaux grâce à un rotomètre; 2- dans le deuxième trajet de recirculation, situé au bas de l'appareil, l'eau s'écoule du réservoir de réfrigération, à la lampe UV pour être ensuite filtrée par la cartouche, et enfin retourner dans le réservoir de réfrigération. Cette eau devra être réfrigérée entre 4° et 11 °C afin de minimiser toute prolifération bactérienne. De plus, cette même eau se retrouve aussi désinfectée.

Trois prises d'air sont essentielles pour équilibrer la pression du système lors de la prise d'eau pour consommation: deux proviennent du réservoir de

réfrigération et l'autre de la lampe à rayons UV. Dans cette dernière, on remarque que le sens d'écoulement est inverse au trajet de recirculation du module de stockage. Ces prises d'air atténuent la formation de bulles d'air qui pourraient obstruer l'écoulement normal de l'eau lors de la demande de consommation.

## 3.2 Déroulement des quatres protocoles expérimentaux

### 3.2.1 Préliminaires

Les protocoles expérimentaux ont été élaborés afin de vérifier le montage d'un purificateur d'eau potable domestique, fabriqué par une compagnie anonyme. Ce montage est un prototype préliminaire et notre travail constitue à vérifier l'efficacité de ce système incluant une désinfection, une filtration ainsi qu'une réfrigération de l'eau potable domestique.

En premier lieu, nous avons planifié une expérience incluant quatre protocoles qui permettent de vérifier la qualité bactériologique de l'eau en fonction du temps, pour un même volume d'eau.

Le premier protocole vérifie la présence (ou la prolifération) de coliformes totaux et fécaux, de

streptocoques fécaux ainsi que de bactéries aérobiques dans le module de stockage et dans le réservoir de réfrigération, avec une recirculation d'environ 1 litre par heure, sans injection de bactéries, i.e. sans simulation de contamination. Cette expérience vérifie simplement le fonctionnement normal du purificateur, avec l'ajout d'un système de recirculation.

Le deuxième protocole vérifie la présence de ces mêmes bactéries aux mêmes endroits, avec une recirculation de 1 litre par heure et avec injection de *Escherichia coli*, afin de produire une simulation de contamination.

Ce protocole permet de vérifier l'efficacité de l'appareil lors de conditions difficiles, susceptibles de se produire. Nous mettrons donc à l'épreuve la capacité de désinfection de la lampe à rayons UV, qui devrait nous donner une bonne performance avec la recirculation d'eau. De même, nous constaterons si l'effet combiné de la basse température et de la lampe peut inhiber et même détruire toute présence de bactéries susceptibles de proliférer en très grande quantité dans la cartouche, ainsi que dans l'ensemble du système.

Le troisième protocole se déroule sans

recirulation d'eau dans le module de stockage ainsi que dans le réservoir de réfrigération. Celui-ci permet de voir s'il y a effectivement prolifération bactérienne en l'absence de recirculation (sans injection d'Escherichia coli.), et ce, en plus grande quantité dans le filtre au charbon activé que dans le module de stockage, étant donné que nous n'avons pas de désinfection. Cette expérience sert donc de témoin.

Le quatrième protocole se déroule sans recirculation, avec injection d'Escherichia coli. Ceci permet de voir l'effet d'un appareil dont le système de recirculation ne fonctionnerait pas, ou dans le cas où il y aurait contamination dans le réseau de distribution. C'est le témoin pour vérifier l'importance du fonctionnement de la recirculation dans la lampe UV lors d'une contamination.

Les buts des quatre protocoles se résume donc ainsi;

2 - les deux premiers protocoles vérifient l'efficacité de la lampe avec le sytème de recirculation, avec et sans simulation de contamination.

1 - les deux derniers protocoles vérifient la nécessité d'incorporer un système de recirculation à l'intérieur de la lampe aux rayons ultraviolets dans cette appareil de filtration au charbon

activé. En regardant si effectivement, il y a prolifération bactérienne dans le fonctionnement normal de l'appareil; ceci sera démontrer avec le protocole 3, sans injection d'Echerichia coli., ainsi que dans le protocole 4 dont l'injection des coliformes fécaux permet de mieux constater la rapidité de cette prolifération.

Protocoles

| Avec recirculation | | Sans recirculation | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| sans injection | injection d'Escherichia coli | sans injection | injection d'Escherichia coli |

Figure 10. Schéma visuel de la méthodologie.

### 3.2.2 Préparation de l'appareil

Afin d'avoir une constance dans la puissance de la lampe, celle-ci doit être allumée au moins 30 minutes avant son utilisation, car elle obtient un plateau d'efficacité après 20 minutes de fonctionnement (Santé et Bien-Etre Social Canada, 1979).

Etant donné que l'on a quatre protocoles expérimentaux, la lampe fut allumée deux jours avant le

début des expériences, et fut toujours gardée ouverte par la suite, i.e. qu'elle n'a pas été fermée entre les protocoles afin de maintenir le niveau de puissance constant.

Après chaque protocole, une chloration est nécéssaire pour éliminer toute présence de vie à l'intérieur de l'appareil. Par la suite, une déchloration a été effectuée en ajoutant environ 1 gramme de thiosulfate de sodium par litre de solution afin d'enlever toute présence de chlore qui aurait pu biaiser le résultat de la désinfection provenant de la lampe UV.

Ensuite, pour ne pas affecter les résultats des protocoles suivants en empêchant une prolifération possible des bactéries par le thiosulfate de sodium, nous l'enlevons complètement par deux rinçages à l'eau distillée.

Afin de permettre une bonne efficacité de recirculation, étant donné que cette dernière s'effectue de façon passive dans l'appareil de purification et qu'elle fonctionne mal, nous avons installé une pompe péristaltique pour les deux protocoles requérant une recirculation. Pour ce faire, nous avons monté un réseau de tubes en propyéthylène, de manière à pouvoir tester le débit avec un

rotamètre. Nous avons mis trois jonctions afin de pouvoir calculer la vitesse à volonté dans les deux trajets mentionnés ci-haut.

Il est à noter que le temps zéro représente le moment où l'appareil est complètement rempli. Le filtre au charbon doit aussi être exempt de bulles d'air afin d'obtenir une efficacité maximale de filtration.

### 3.2.3 Stérilisation des bouteilles

Les bouteilles de 250 mL sont autoclavées à 121°C pendant 20 minutes à 1 $kg.cm^{-2}$ de pression (réf. Christin, 1984).

On stérilise les entonnoirs et le porte-filtre à l'aide d'une lampe UV (qui n'est pas celle du purificateur), par exposition d'au moins 2 minutes en chambre fermée entre chaque filtration. Les pipettes de 25 mL sont déjà stérilisées et jetables après utilisation.

### 3.2.4 Préparation des milieux de culture

Les milieux de cultures sont choisis selon les types de bactéries que l'on désire analyser, et sont conçus selon la procédure du fabriquant qui normalement

respecte la marche à suivre (APHA, AWWA, WPCF, 1985) soit;

- la préparation d'un milieu de culture M-endo qui est le plus couramment utilisé pour la culture et le dénombrement des coliformes totaux;
- un milieu de culture M-fc, pour cultiver et dénombrer les coliformes fécaux;
- un milieu de culture "KF streptococcus", pour les streptocoques;
- un milieu de culture d'agar nutritif afin de dénombrer touts les types de bactéries aérobies possibles pouvant croître sur ce milieu et que l'on peut retrouver dans l'eau potable.

### 3.2.5 Ensemencement des bactéries

Afin d'ensemencer un milieu de culture en excellente santé d'Escherichia coli pour être injecté dans nos deux protocoles avec simulation de contamination (avec et sans recirculation) dans le réservoir de stockage, nous fabriquons un milieu de culture frais par ensemencement en tubes multiples, comme indiqué dans le Standar Method (APHA, AWWA, WPCF).

Les échantillons de bactéries ont été recueillis dans des bouteilles de 250 mL préalablement stérilisées. Ces échantillons sont transportés et conservés au froid jusqu'au moment de leur analyse, soit moins d'une heure après leur prélèvement.

Les analyses sont effectuées selon la technique de la membrane filtrante. Le volume filtré de chaque échantillon est de 100 mL. Le mode de préparation des milieux de culture est celui proposé par le fabricant.

Les analyses des coliformes totaux et fécaux, du dénombrement de bactéries totales aérobiques, ainsi que de streptocoques fécaux, sont conformes aux méthodes bactériologiques normalisées (APHA, AWWA, WPCF, 1985).

### 3.2.6 Méthodes d'échantillonnage

L'aspect physique de l'appareil ne peut concevoir la même prise d'échantillonnage, étant donné l'aspect ouvert du module de stockage et fermé du réservoir de réfrigération.

#### 3.2.6.1 Prélèvements dans le module de stockage

Afin de respecter la représentativité de l'échantillonnage, on a dispersé les points stratégiques de la prise d'échantillon comme suit; deux en haut, une au centre et deux dans le bas du réservoir d'alimentation (figure 6).

Il est à noter qu'afin d'avoir des données aléatoires pour représenter la totalité du bassin, ces points sont effectués plus ou moins au hasard. Nous avons donc pipetté 20 mL d'eau dans ce réservoir aux cinq endroits différents, que nous avons mélangé par la suite en les regroupant dans une bouteille de 250 mL en polyéthylène stérilisée. Ceci représente donc un prélèvement d'échantillon dans le module de stockage que nous filtrons immédiatement tout en respectant la technique de la membrane filtrante, pour ensuite être mis en incubation à 35 °C. Nous avons fait quatre prélèvements de 100 mL chaque, soit un pour l'ensemencement de la culture de coliformes fécaux, un pour les coliformes totaux, un pour les streptocoques fécaux et 0,5 mL pour le dénombrement normalisé total (DNP).

### 3.2.6.2 Prélèvements dans le réservoir de réfrigération

La prise d'échantillon en système fermé, s'effectue comme suit; nous purgeons les 10 premiers mL qui se retrouvent dans les tuyaux du robinet, mesurant environ 4 cm, ce qui représente environ 5 mL d'eau. Ainsi nous sommes certains d'avoir enlevé l'eau qui ne se retrouve pas à l'intérieur du réservoir de réfrigération et qui ne possède donc pas non plus la même température. Avec l'eau froide provenant donc strictement du réservoir et non des tuyaux, nous prélevons successivement 5 fois 20 mL, que nous mélangeons dans une bouteille de 250 mL en polyéthylène, afin d'être immédiatement filtré en respectant la méthode de la technique de la membrane filtrante (TMF). Nous effectuons ce processus 4 fois, soit un pour chaque type de culture, mentionnée plus haut.

### 3.2.6.3 Horaire d'échantillonnage des quatre protocoles

Le temps chronologique des prélèvements dans les bassins d'alimentation et de réfrigération, en ce qui a trait aux protocoles 1 et 3 i.e. avec injection d'*Escherichia coli* , s'effectue tel qu'illustré au tableau 4.

Tableau 4. Déroulement des protocoles expérimentaux :

| Heure de prélèvement | Coliformes totaux | Coliformes fécaux | Compte total | Streptocoques fécaux |
|---|---|---|---|---|
| 0 | X | X | X | X |
| 6 | X | X | X | X |
| 24 | X | -/x | X | - |
| 48 | X | X | X | X |
| 96 | X | -/x | X | - |

où X: prélèvements et analyses effectués

-: aucun prélèvement

-/x: sans prélèvement pour les protocoles 1 et 3 et avec prélèvement pour les protocoles 2 et 4

Chaque prélèvement contient 100 mL d'eau en provenance de l'appareil. Il est à noter que l'eau du module de stockage constitue un échantillon en lui même et qu'il n'est pas mélangé avec la prise d'eau dans le réservoir de réfrigération.

Ainsi à toutes les heures d'échantillonnage on prélève 502 mL d'eau contenue dans l'appareil, soit 200 mL pour chaque type de coliforme, 4 x 0,5 mL pour le compte de bactéries aérobiques total, et 100 mL pour les

streptocoques. Procédé soit dans le module de stockage et dans le réservoir de réfrigération, ce qui fait au grand total 1004 mL à chaque heure de prélèvement d'eau.

Donc, la quantité d'eau à prélever pour chaque échantillonnage dans chaque bassin, se déroule selon le tableau 5.

Tableau 5. Quantité d'eau prélevée dans l'appareil

| Heure de prélèvement | Coliformes fécaux (mL) | Coliformes totaux (mL) | Compte total (mL) | Streptocoques fécaux (mL) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| 6 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| 24 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| 48 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| 72 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| 96 | 2 x 100 | 2 x 100 | 4 x 0,5 | 100 |
| TOTAL | 1,2 L | 1,2 L | 24 mL | 600 mL |
| GRAND TOTAL ..... | | | | 3,024 L |

### 3.2.7 Contrôle de la qualité à l'affluent ainsi qu'à l'effluent

Afin de vérifier l'efficacité de la désinfection ainsi que celle de la filtration, nous devons contrôler certains paramètres chimiques et physiques de l'eau avant et après traitement i.e. soit analyser l'eau provenant du réseau de distribution de la ville de Laval et à la sortie du purificateur domestique.

#### 3.2.7.1 Bactéries

Nous devons effectuer certaines vérifications afin d'assurer qu'il n'y a pas de contamination bactériologique non contrôlable.

Afin de vérifier s'il n'y aurait pas de contamination provenant des manipulations et de l'air ambiant, nous avons fait un échantillon témion constitué d'eau distillée pour chaque analyse effectuée (un témoin).

De plus, pour s'assurer qu'il n'y ait pas de contamination causée par un appareil mal désinfecté, nous avons utilisé un témoin constitué d'un bassin en plastique rempli d'eau provenant du réseau de distribution de la ville de Laval, exposé à l'air ambiant.

### 3.2.7.2 Paramètres physiques

Le contrôle des paramètres physiques inclus la température ambiante de la pièce, la température dans les bassins d'alimentation et de réfrigération ainsi que la vitesse de recirculation.

Le déroulement de la prise de température s'est effectué aux mêmes heures que ceux des échantillons pour les quatre protocoles expérimentaux, tel que mentionné plus haut (section 4.1).

La lecture pour la vitesse fut prise lors des deux protocoles avec recirculation, avec un rotomètre à haute sensibilité, aux heures mentionnées dans la présentation des résultats.

### 3.2.7.3 Paramètres chimiques

Certains paramètres chimiques ont été analysés pendant les protocoles avec recirculation ainsi qu'avec les mêmes heures de prélèvements. L'appareil ne contenait que 9 litres d'eau, nous avons dû répatir nos analyses en deux étapes, afin de pouvoir prélever ces échantillon en parallèle avec le contrôle de la qualité bactériologique. Voici un tableau simplifié de la

distribution de part et d'autre des différents paramètres chimiques analysés ainsi que de la méthode élaborée.

Tableau 6. Distribution des analyses chimiques dans les protocoles 1 et 3

| | Paramètres chimiques | Préservatif à ajouter (2 mL) | Quantité de recueillie (mL) |
|---|---|---|---|
| Protocole 1 | Ca,Fe,Mn, K,Mg,Na, | $HNO_3$ à 50% | 200 |
| | Chlorures | Néant | 100 |
| | Sulfates | Néant | 100 |
| | Chlore Résiduel | Néant | 200 |
| | Alcalinité | Néant | 100 |
| | Couleur | Néant | 50 |
| Protocole 3 | Conductivité | Néant | 100 |
| | Dureté | $HNO_3$ | 100 |
| | MES | Néant | 500 |
| | Turbidité | Néant | 100 |

Tous les paramètres chimiques ont été analysés par le laboratoire de la compagnie Sodexen Inc., tout en respectant les protocoles normalisés américains (APHA, AWWA, WPCF, 1985).

# CHAPITRE IV - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

## 4.1 Présentation des résultats bruts du dénombrement bactérien

Les résultats des dénombrements de bactéries et de températures effectués aux quatre protocoles sont présentés dans les tableaux 7 à 19;

Tableau 7 : Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 0 | 23,0 |
| 2A | 0 | 0 | 23,0 |
| 1C | 0 | 0 | 21,5 |
| 2C | 0 | 0 | 21,5 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 28,5 |
| 2A | 6 | 0 | 28,5 |
| 1C | 6 | 0 | 23,0 |
| 2C | 6 | 0 | 23,0 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 29,5 |
| 2A | 24 | 0 | 29,5 |
| 1C | 24 | 0 | 19,0 |
| 2C | 24 | 0 | 19,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 28,0 |
| 2A | 48 | 0 | 28,0 |
| 1C | 48 | 0 | 19,0 |
| 2C | 48 | 0 | 19,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 28,0 |
| 2A | 72 | 0 | 28,0 |
| 1C | 72 | 0 | 19,0 |
| 2C | 72 | 0 | 19,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 98 | 0 | 28,0 |
| 2A | 96 | 0 | 28,0 |
| 1C | 96 | 0 | 19,0 |
| 2C | 96 | 0 | 19,0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

ou BL = blanc,
E.D. = eau distillée,
A = échantillon pris dans le bassin d'alimentation,
C = échantillon pris dans le module de stockage,
-- = aucun prélèvement effectué.

Tableau 8 : Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 0,5 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 1 | 23,0 |
| 2A | 0 | 5 | 23,0 |
| 3A | 0 | 0 | 23,0 |
| 4A | 0 | 0 | 23,0 |
| 1C | 0 | 2 | 21,5 |
| 2C | 0 | 1 | 21,5 |
| 3C | 0 | 5 | 21,5 |
| 4C | 0 | 0 | 21,5 |
| BL | 0 | 0 | --- |
| BL+E.D | 0 | 0 | --- |
| 1A | 6 | 0 | 28,5 |
| 2A | 6 | 0 | 28,5 |
| 3A | 6 | 0 | 28,5 |
| 4A | 6 | 0 | 28,5 |
| 1C | 6 | 0 | 23,0 |
| 2C | 6 | 6 | 23,0 |
| 3C | 6 | 0 | 23,0 |
| 4C | 6 | 2 | 23,0 |
| BL | 6 | 0 | --- |
| BL+E.D | 6 | 0 | --- |
| 1A | 24 | 0 | 29,5 |
| 2A | 24 | 0 | 29,5 |
| 3A | 24 | 0 | 29,5 |
| 4A | 24 | 0 | 29,5 |
| 1C | 24 | 12 | 19,0 |
| 2C | 24 | 59 | 19,0 |
| 3C | 24 | 51 | 19,0 |
| 4C | 24 | 55 | 19,0 |
| BL | 24 | 0 | --- |
| BL+E.D | 24 | 0 | --- |
| 1A | 48 | 1 | 28,0 |
| 2A | 48 | 0 | 28,0 |
| 3A | 48 | 8 | 28,0 |
| 4A | 48 | 0 | 28,0 |
| 1C | 48 | 84 | 19,0 |
| 2C | 48 | 189 | 19,0 |
| 3C | 48 | 216 | 19,0 |
| 4C | 48 | 162 | 19,0 |
| BL | 48 | 0 | --- |
| BL+E.D | 48 | UFC | --- |
| 1A | 72 | 1 | 28,0 |
| 2A | 72 | 0 | 28,0 |
| 3A | 72 | 0 | 28,0 |
| 4A | 72 | 0 | 28,0 |
| 1C | 72 | 93 | 19,0 |
| 2C | 72 | 594 | 19,0 |
| 3C | 72 | 648 | 19,0 |
| 4C | 72 | 648 | 19,0 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |

ou UFC = unité de formation continue.

Tableau 9 : Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 1, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 0 | 23,0 |
| 2A | 0 | 0 | 23,0 |
| 1C | 0 | 0 | 21,5 |
| 2C | 0 | 0 | 21,5 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 28,5 |
| 2A | 6 | 0 | 28,5 |
| 1C | 6 | 0 | 23,0 |
| 2C | 6 | 0 | 23,0 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 29,5 |
| 2A | 24 | 0 | 29,5 |
| 1C | 24 | 0 | 19,0 |
| 2C | 24 | 0 | 19,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 28,0 |
| 2A | 48 | 0 | 28,0 |
| 1C | 48 | 0 | 19,0 |
| 2C | 48 | 0 | 19,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 28,0 |
| 2A | 72 | 0 | 28,0 |
| 1C | 72 | 0 | 19,0 |
| 2C | 72 | 0 | 19,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 96 | 0 | 28,0 |
| 2A | 96 | 0 | 28,0 |
| 1C | 96 | 0 | 19,0 |
| 2C | 96 | 0 | 19,0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 10: Résultats du dénombrement des streptocoques fécaux effectués aux protocoles 1,2, 3 et 4.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL |
|---|---|---|
| 1A | 0 | 0 |
| 2A | 0 | 0 |
| 1C | 0 | 0 |
| 2C | 0 | 0 |
| BL | 0 | 0 |
| BL+E.D | 0 | 0 |
| 1A | 6 | 0 |
| 2A | 6 | 0 |
| 1C | 6 | 0 |
| 2C | 6 | 0 |
| BL | 6 | 0 |
| BL+E.D | 6 | 0 |
| 1A | 24 | 0 |
| 2A | 24 | 0 |
| 1C | 24 | 0 |
| 2C | 24 | 0 |
| BL | 24 | 0 |
| BL+E.D | 24 | 0 |
| 1A | 48 | 0 |
| 2A | 48 | 0 |
| 1C | 48 | 0 |
| 2C | 48 | 0 |
| BL | 48 | 0 |
| BL+E.D | 48 | 0 |
| 1A | 72 | 0 |
| 2A | 72 | 0 |
| 1C | 72 | 0 |
| 2C | 72 | 0 |
| BL | 72 | 0 |
| BL+E.D | 72 | 0 |
| 1A | 96 | 0 |
| 2A | 96 | 0 |
| 1C | 96 | 0 |
| 2C | 96 | 0 |
| BL | 96 | 0 |
| BL+E.D | 96 | 0 |

Tableau 11 :Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 2, effectués en mai 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 10 000 | 19,5 |
| 2A | 0 | 10 000 | 19,5 |
| 1C | 0 | 0 | 18,5 |
| 2C | 0 | 0 | 18,5 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 10 000 | 27,5 |
| 2A | 6 | 10 000 | 27,5 |
| 1C | 6 | 25 | 23,5 |
| 2C | 6 | 27 | 23,5 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 1695 | 25,0 |
| 2A | 24 | 1356 | 25,0 |
| 1C | 24 | 0 | 14,0 |
| 2C | 24 | 0 | 14,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 27,5 |
| 2A | 48 | 0 | 27,5 |
| 1C | 48 | 0 | 14,0 |
| 2C | 48 | 0 | 14,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 27,0 |
| 2A | 72 | 0 | 27,0 |
| 1C | 72 | 0 | 11,0 |
| 2C | 72 | 0 | 11,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 96 | 0 | 27,0 |
| 2A | 96 | 0 | 27,0 |
| 1C | 96 | 0 | 11,0 |
| 2C | 96 | 0 | 11,0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 12 : Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocol 2, effectués en mai 1988.

| Echantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 0,5 mL | Température C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 3931 | 19,5 |
| 2A | 0 | 5040 | 19,5 |
| 3A | 0 | 5544 | 19,5 |
| 4A | 0 | 4536 | 19,5 |
| 1C | 0 | 1 | 18,5 |
| 2C | 0 | 2 | 18,5 |
| 3C | 0 | 1 | 18,5 |
| 4C | 0 | 2 | 18,5 |
| BL | 0 | 0 | --- |
| BL+E.D | 0 | 0 | --- |
| 1A | 6 | 896 | 27,5 |
| 2A | 6 | 840 | 27,5 |
| 3A | 6 | 840 | 27,5 |
| 4A | 6 | 952 | 27,5 |
| 1C | 6 | 0 | 23,5 |
| 2C | 6 | 1 | 23,5 |
| 3C | 6 | 2 | 23,5 |
| 4C | 6 | 1 | 23,5 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | --- |
| 1A | 24 | 46 | 25,0 |
| 2A | 24 | 23 | 25,0 |
| 3A | 24 | 19 | 25,0 |
| 4A | 24 | 36 | 25,0 |
| 1C | 24 | 12 | 14,0 |
| 2C | 24 | 14 | 14,0 |
| 3C | 24 | 17 | 14,0 |
| 4C | 24 | --- | -- |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 5280 | 27,5 |
| 2A | 48 | 1554 | 27,5 |
| 3A | 48 | 5040 | 27,5 |
| 4A | 48 | 4102 | 27,5 |
| 1C | 48 | 638 | 14,0 |
| 2C | 48 | 980 | 14,0 |
| 3C | 48 | 742 | 14,0 |
| 4C | 48 | 1022 | 14,0 |
| BL | 48 | 0 | --- |
| BL+E.D | 48 | 0 | --- |
| 1A | 72 | 10 000 | 27,5 |
| 2A | 72 | 10 000 | 27,5 |
| 3A | 72 | 10 000 | 27,5 |
| 4A | 72 | 10 000 | 27,5 |
| 1C | 72 | 7224 | 14,0 |
| 2C | 72 | 2128 | 14,0 |
| 3C | 72 | 2268 | 14,0 |
| 4C | 72 | 6888 | 14,0 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |
| 1A | 96 | 10 000 | 27,5 |
| 2A | 96 | 10 000 | 27,5 |
| 3A | 96 | 10 000 | 27,5 |
| 4A | 96 | 10 000 | 27,5 |
| 1C | 96 | 10 000 | 14,0 |
| 2C | 96 | 10 000 | 14,0 |
| 3C | 98 | 10 000 | 14,0 |
| 4C | 96 | 10 000 | 14,0 |
| BL | 96 | 0 | --- |
| BL+E.D | 96 | 0 | --- |

Tableau 13 : Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 2, effectués en mai 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 10 000 | 19,5 |
| 2A | 0 | 10 000 | 19,5 |
| 1C | 0 | 0 | 18,5 |
| 2C | 0 | 0 | 18,5 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | --- | 27,5 |
| 2A | 6 | --- | 27,5 |
| 1C | 6 | --- | 23,5 |
| 2C | 6 | --- | 23,5 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 7 | 25,0 |
| 2A | 24 | 0 | 25,0 |
| 1C | 24 | 0 | 14,0 |
| 2C | 24 | 0 | 14,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 27,5 |
| 2A | 48 | 0 | 27,5 |
| 1C | 48 | 0 | 14,0 |
| 2C | 48 | 0 | 14,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 27,0 |
| 2A | 72 | 0 | 27,0 |
| 1C | 72 | 0 | 11,0 |
| 2C | 72 | 0 | 11,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 96 | 0 | 27,0 |
| 2A | 96 | 0 | 27,0 |
| 1C | 96 | 0 | 11,0 |
| 2C | 96 | 0 | 11,0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 14 : Résultats du dénombrement des coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 3, effectués en mai 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 0 | 16,5 |
| 2A | 0 | 0 | 16,5 |
| 1C | 0 | 0 | 12,0 |
| 2C | 0 | 0 | 12,0 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 26,5 |
| 2A | 6 | 0 | 26,5 |
| 1C | 6 | 0 | 13,5 |
| 2C | 6 | 0 | 13,5 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 26,5 |
| 2A | 24 | 0 | 26,5 |
| 1C | 24 | 0 | 13,5 |
| 2C | 24 | 0 | 13,5 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 29,0 |
| 2A | 48 | 0 | 29,0 |
| 1C | 48 | 0 | 16,5 |
| 2C | 48 | 0 | 16,5 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 31,0 |
| 2A | 72 | 0 | 31,0 |
| 1C | 72 | 0 | 16,5 |
| 2C | 72 | 0 | 16,5 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |
| 1A | 96 | 0 | 31,5 |
| 2A | 96 | 0 | 31,5 |
| 1C | 96 | 0 | 7,0 |
| 2C | 96 | 0 | 7,0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 15 : Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures au protocole 3, effectués en mai 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 0 | 16.5 |
| 2A | 0 | 0 | 16.5 |
| 1C | 0 | 0 | 12.0 |
| 2C | 0 | 0 | 12.0 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 26.5 |
| 2A | 6 | 0 | 26.5 |
| 1C | 6 | 0 | 13.5 |
| 2C | 6 | 0 | 13.5 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 26.5 |
| 2A | 24 | 0 | 26.5 |
| 1C | 24 | 0 | 13.5 |
| 2C | 24 | 0 | 13.5 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 29.0 |
| 2A | 48 | 0 | 29.0 |
| 1C | 48 | 0 | 16.5 |
| 2C | 48 | 0 | 16.5 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 31.0 |
| 2A | 72 | 0 | 31.0 |
| 1C | 72 | 0 | 16.5 |
| 2C | 72 | 0 | 16.5 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |
| 1A | 96 | 0 | 31.5 |
| 2A | 96 | 0 | 31.5 |
| 1C | 96 | 0 | 7.0 |
| 2C | 96 | 0 | 7.0 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 16 : Resultats du denombrement du compte total et des temperatures obtenues au protocole 3, effectues en mai 1988.

| Echantillon | Heure de prelevement | Nombres/ 0,5 mL | Temperature C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 6 | 16,5 |
| 2A | 0 | 0 | 16,5 |
| 3A | 0 | 0 | 16,5 |
| 4A | 0 | 0 | 16,5 |
| 1C | 0 | 83 | 12,0 |
| 2C | 0 | 72 | 12,0 |
| 3C | 0 | 78 | 12,0 |
| 4C | 0 | 75 | 12,0 |
| BL | 0 | 0 | --- |
| BL+E.D | 0 | 0 | --- |
| 1A | 6 | 0 | 26,5 |
| 2A | 6 | 0 | 26,5 |
| 3A | 6 | 0 | 26,5 |
| 4A | 6 | 0 | 26,5 |
| 1C | 6 | 217 | 13,5 |
| 2C | 6 | 161 | 13,5 |
| 3C | 6 | 217 | 13,5 |
| 4C | 6 | 329 | 13,5 |
| BL | 6 | 0 | --- |
| BL+E.D | 6 | 0 | --- |
| 1A | 24 | 2 | 26,5 |
| 2A | 24 | 0 | 26,5 |
| 3A | 24 | 1 | 26,5 |
| 4A | 24 | 1 | 26,5 |
| 1C | 24 | 705 | 13,5 |
| 2C | 24 | 1522 | 13,5 |
| 3C | 24 | 892 | 13,5 |
| 4C | 24 | --- | 13,5 |
| BL | 24 | 0 | --- |
| BL+E.D | 24 | 0 | --- |
| 1A | 48 | 0 | 29,0 |
| 2A | 48 | 10 000 | 29,0 |
| 3A | 48 | 5376 | 29,0 |
| 4A | 48 | 4312 | 29,0 |
| 1C | 48 | 10 000 | 16,5 |
| 2C | 48 | 10 000 | 16,5 |
| 3C | 48 | 10 000 | 16,5 |
| 4C | 48 | 10 000 | 16,5 |
| BL | 48 | 0 | --- |
| BL+E.D | 48 | 0 | --- |
| 1A | 72 | 10 000 | 31,0 |
| 2A | 72 | 10 000 | 31,0 |
| 3A | 72 | 10 000 | 31,0 |
| 4A | 72 | 10 000 | 31,0 |
| 1C | 72 | 10 000 | 16,5 |
| 2C | 72 | 10 000 | 16,5 |
| 3C | 72 | 10 000 | 16,5 |
| 4C | 72 | 10 000 | 16,5 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |
| 1A | 96 | 10 000 | 31,5 |
| 2A | 96 | 10 000 | 31,5 |
| 3A | 96 | 10 000 | 31,5 |
| 4A | 96 | 10 000 | 31,5 |
| 1C | 96 | 10 000 | 7,0 |
| 2C | 96 | 10 000 | 7,0 |
| 3C | 96 | 10 000 | 7,0 |
| 4C | 96 | 10 000 | 7,0 |
| BL | 96 | 0 | --- |
| BL+E.D | 96 | 0 | --- |

Tableau 17 : Résultats du nombre de coliformes totaux et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 2825 | 19,0 |
| 2A | 0 | 3390 | 19,0 |
| 1C | 0 | 452 | 19,0 |
| 2C | 0 | 565 | 19,0 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 28.5 |
| 2A | 6 | 0 | 28,5 |
| 1C | 6 | 5 | 13,0 |
| 2C | 6 | 6 | 13,0 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 28,5 |
| 2A | 24 | 0 | 28,5 |
| 1C | 24 | 0 | 11,0 |
| 2C | 24 | 0 | 11,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 28,5 |
| 2A | 48 | 0 | 28,5 |
| 1C | 48 | 0 | 11,0 |
| 2C | 48 | 0 | 11,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 28,5 |
| 2A | 72 | 0 | 28,5 |
| 1C | 72 | 0 | 11,0 |
| 2C | 72 | 0 | 11,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 96 | 0 | 26,5 |
| 2A | 96 | 0 | 26,5 |
| 1C | 96 | 0 | 9,5 |
| 2C | 96 | 0 | 9,5 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

Tableau 18 : Résultats du dénombrement du compte total de bactéries aérobiques et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 0,5 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 36 | 19,0 |
| 2A | 0 | 32 | 19,0 |
| 3A | 0 | 46 | 19,0 |
| 4A | 0 | 44 | 19,0 |
| 1C | 0 | 0 | 19,0 |
| 2C | 0 | 1 | 19,0 |
| 3C | 0 | 2 | 19,0 |
| 4C | 0 | 1 | 19,0 |
| BL | 0 | 0 | --- |
| BL+E.D | 0 | 0 | --- |
| 1A | 6 | 9 | 28,5 |
| 2A | 6 | 16 | 28,5 |
| 3A | 6 | 22 | 28,5 |
| 4A | 6 | 26 | 28,5 |
| 1C | 6 | 0 | 13,0 |
| 2C | 6 | 0 | 13,0 |
| 3C | 6 | 0 | 13,0 |
| 4C | 6 | 0 | 13,0 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | --- |
| 1A | 24 | 1 | 28,5 |
| 2A | 24 | 112 | 28,5 |
| 3A | 24 | 130 | 28,5 |
| 4A | 24 | 125 | 28,5 |
| 1C | 24 | 0 | 11,0 |
| 2C | 24 | --- | 11,0 |
| 3C | 24 | 38 | 11,0 |
| 4C | 24 | 73 | 11,0 |
| BL | 24 | 61 | --- |
| BL+E.D | 24 | 0 | --- |
| 1A | 48 | 10 000 | 28,5 |
| 2A | 48 | 10 000 | 28,5 |
| 3A | 48 | 10 000 | 28,5 |
| 4A | 48 | 10 000 | 28,5 |
| 1C | 48 | 436 | 11,0 |
| 2C | 48 | 6 | 11,0 |
| 3C | 48 | 336 | 11,0 |
| 4C | 48 | 420 | 11,0 |
| BL | 48 | 0 | --- |
| BL+E.D | 48 | 0 | --- |
| 1A | 72 | 10 000 | 28,5 |
| 2A | 72 | 10 000 | 28,5 |
| 3A | 72 | 1148 | 28,5 |
| 4A | 72 | 10 000 | 28,5 |
| 1C | 72 | 350 | 11,0 |
| 2C | 72 | 504 | 11,0 |
| 3C | 72 | 672 | 11,0 |
| 4C | 72 | 650 | 11,0 |
| BL | 72 | 0 | --- |
| BL+E.D | 72 | 0 | --- |
| 1A | 96 | --- | 26,5 |
| 2A | 96 | 2074 | 26,5 |
| 3A | 96 | 4570 | 26,5 |
| 4A | 96 | 4066 | 26,5 |
| 1C | 96 | 448 | 9,5 |
| 2C | 96 | 616 | 9,5 |
| 3C | 96 | 560 | 9,5 |
| 4C | 96 | 448 | 9,5 |
| BL | 96 | 0 | --- |
| BL+E.D | 96 | 0 | --- |

Tableau 19 : Résultats du dénombrement des coliformes fécaux et des températures obtenus au protocole 4, effectués en juin 1988.

| Échantillon | Heure de prélèvement | Nombres/ 100 mL | Température °C |
|---|---|---|---|
| 1A | 0 | 1808 | 19,0 |
| 2A | 0 | 1356 | 19,0 |
| 1C | 0 | 180 | 19,0 |
| 2C | 0 | 202 | 19,0 |
| BL | 0 | 0 | -- |
| BL+E.D | 0 | 0 | -- |
| 1A | 6 | 0 | 28,5 |
| 2A | 6 | 0 | 28,5 |
| 1C | 6 | 0 | 13,0 |
| 2C | 6 | 0 | 13,0 |
| BL | 6 | 0 | -- |
| BL+E.D | 6 | 0 | -- |
| 1A | 24 | 0 | 28,5 |
| 2A | 24 | 0 | 28,5 |
| 1C | 24 | 0 | 11,0 |
| 2C | 24 | 0 | 11,0 |
| BL | 24 | 0 | -- |
| BL+E.D | 24 | 0 | -- |
| 1A | 48 | 0 | 28,5 |
| 2A | 48 | 0 | 28,5 |
| 1C | 48 | 0 | 11,0 |
| 2C | 48 | 0 | 11,0 |
| BL | 48 | 0 | -- |
| BL+E.D | 48 | 0 | -- |
| 1A | 72 | 0 | 28,5 |
| 2A | 72 | 0 | 28,5 |
| 1C | 72 | 0 | 11,0 |
| 2C | 72 | 0 | 11,0 |
| BL | 72 | 0 | -- |
| BL+E.D | 72 | 0 | -- |
| 1A | 96 | 0 | 26,5 |
| 2A | 96 | 0 | 26,5 |
| 1C | 96 | 0 | 9,5 |
| 2C | 96 | 0 | 9,5 |
| BL | 96 | 0 | -- |
| BL+E.D | 96 | 0 | -- |

### 4.1.1 Résultats qualitatifs bactériologiques

Les remarques suivantes seront commentées dans la discussion.

Lors du dénombrement des pétris contenant les coliformes totaux, on remarque un nombre considérable de colonies atypiques sur le milieu de culture du m-endo. Par contre, ces données n'apparaissent pas dans la présentation des résultats, étant donné qu'elles sont normalement incluses dans le dénombrement du compte total de bactéries, pouvant aussi croître sur l'agar nutritif. Il est important de prendre conscience que l'identification du type exact de bactéries pouvant se retrouver ou croître dans l'appareil n'est pas ici le but de l'expérience. Ce qui nous intéresse, c'est de vérifier le contrôle de l'efficacité bactéricide de la lampe UV. combiné avec un système de filtration d'eau potable domestique au charbon activé. Ainsi, nous vérifions s'il y a croissance d'un type quelconque de bactéries.

La vérification des coliformes totaux et fécaux ainsi que des streptocoques a été effectuée afin de s'assurer au maximum de la qualité de l'eau provenant de l'usine de fitration de la ville de Laval. Le dénombrement des coliformes sera utilisé lors de la simulation d'une contamination par Escherichia coli., et servira lors de la

discussion.

Les contrôles "blancs" ajoutés, pour chaque période d'échantillonnage, vérifient la qualité des manipulations. Ainsi, l'on s'assure de ne pas inclure une contamination autre que celle due aux manipulations.

Les contrôles "blancs", contenant de l'eau distillée, vérifient l'absence de toute contamination extérieure à l'appareil qui pourrait provenir entre autres de la verrerie.

## 4.2 Présentation des résultats physico-chimiques de l'eau provenant de l'appareil

Les prélèvements d'eau pour effectuer l'échantillonnage proviennent soit du module de stockage pour le temps zéro, soit du module de réfrigération pour tous les autres temps d'expériences, incluant le temps zéro.

Tableau 20 : Résultats physico-chimiques de l'eau provenant du réservoir d'alimentation, effetués aux protocoles 1 et 3, en mai et juin 1988.

| Temps (heure) | Échantillon | Quantité (mg\L) |
|---|---|---|
| 0 | Ca | 16,60 |
| 0 | Fe | ND |
| 0 | K | 0,94 |
| 0 | Mg | 2,50 |
| 0 | Mn | ND |
| 0 | Na | 5,20 |
| 0 | Chlore total | 0,17 |
| 0 | CRL | ND |
| 0 | $SO_4$ | 28,50 |
| 0 | Alcalinité | 3,00 |
| 0 | Couleur | ND |
| 0 | Conductivité | ND |
| 0 | MES | ND |
| 0 | Turbidité | ND |
| 0 | pH | 7,2 |

où ND = non détectable

Tableau 21 : Résultats physico-chimiques de l'eau provenant du réservoir de consommation, effetués aux protocoles 1 et 3, en mai et juin 1988.

| Temps (heure) | Échantillon | Quantité (mg\L) | Temps (heure) | Quantité (mg\L) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | Ca | 17,6 | 48 | 17,3 |
| 0 | Fe | ND | 48 | ND |
| 0 | K | 1,32 | 48 | 1,50 |
| 0 | Mg | 2,70 | 48 | 3,00 |
| 0 | Mn | ND | 48 | ND |
| 0 | Na | 5,40 | 48 | 5,30 |
| 0 | Chlore total | 2,4 | 48 | 2,4 |
| 0 | CRL | ND | 48 | ND |
| 0 | $SO_4$ | 23,5 | 48 | 18,0 |
| 0 | Alcalinité | 27,0 | 48 | 28,0 |
| 0 | Couleur | ND | 48 | ND |
| 0 | Conductivité | ND | 48 | ND |
| 0 | MES | ND | 48 | ND |
| 0 | Turbidité | ND | 48 | ND |
| 0 | pH | 7,2 | 48 | 7,2 |
| 6 | Ca | 17,9 | 72 | 18,0 |
| 6 | Fe | ND | 72 | ND |
| 6 | K | 1,73 | 72 | 1,57 |
| 6 | Mg | 3,60 | 72 | 3,10 |
| 6 | Mn | ND | 72 | ND |
| 6 | Na | 5,90 | 72 | 5,30 |
| 6 | Chlore total | 2,6 | 72 | 2,0 |
| 6 | CRL | ND | 72 | ND |
| 6 | $SO_4$ | 16,75 | 72 | 17,75 |
| 6 | Alcalinité | 26,0 | 72 | 28,0 |
| 6 | Couleur | ND | 72 | ND |
| 6 | Conductivité | ND | 72 | ND |
| 6 | MES | ND | 72 | ND |
| 6 | Turbidité | ND | 72 | ND |
| 6 | pH | 7,2 | 72 | 7,2 |
| 24 | Ca | 17,1 | 96 | --- |
| 24 | Fe | ND | 96 | --- |
| 24 | K | 1,38 | 96 | --- |
| 24 | Mg | 3,00 | 96 | --- |
| 24 | Mn | ND | 96 | --- |
| 24 | Na | 5,50 | 96 | --- |
| 24 | Chlore total | 1,6 | 96 | --- |
| 24 | CRL | --- | 96 | --- |
| 24 | $SO_4$ | 17,75 | 96 | --- |
| 24 | Alcalinité | 28,0 | 96 | --- |
| 24 | Couleur | ND | 96 | --- |
| 24 | Conductivité | ND | 96 | --- |
| 24 | MES | ND | 96 | --- |
| 24 | Turbidité | ND | 96 | --- |
| 24 | pH | 7,2 | 96 | --- |

## 4.3 Discussion des résultats et recommandations

### 4.3.1 Facteurs influençant les résultats

#### 4.3.1.1 La température

On constate que le système de réfrigération pour le bassin de distribution n'atteint pas la température désirée de 5 °C. Ceci s'explique par le fait que le rhéostat de ce prototype ne possédait pas d'échelle extérieure de graduation de température. Il était donc impossible d'ajuster la température de l'eau. Ainsi, lors de la première expérimentation, lorsque l'appareil a été ajusté presque au minimum afin d'obtenir une température très basse, le bassin de réfrigération contenait de la glace, ce qui aurait pu perturber le fonctionnement normal de l'appareil. Des précautions furent prises afin de ne pas répéter cette erreur. De plus, le moteur du système de réfrigération a contribué à réchauffer la température du module de stockage, ce dernier n'étant pas isolé par une mousse de styrène comme le réservoir de réfrigération. Ce défaut de conception de l'appareil devrait être corrigé dans sa version finale.

#### 4.3.1.2 Présence de bulles d'air

Dès le premier protocole, quelques petites bulles d'environ 0,5 cm de diamètre, sont présentes dans le système de tuyauterie à certains endroits d'où elles ne peuvent être éliminées.

Aussi on retrouve un espace d'air considérable dans les quelques premiers millimètres à la surface de la cartouche. Il en résulte alors une perte de filtration et une possibilité d'augmentation de la croissance bactérienne, étant donné que l'oxygène est un élément essentiel à la survie de plusieurs types de microorganismes.

### 4.3.2 Utilité d'un appareil de désinfection

Au Canada, le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social est l'organisme responsable de l'essai et de l'évaluation des dispositifs de traitement d'eau au point d'utilisation. Aussi, il doit publier et reviser les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, fournir des conseils et effectuer des recherches en matière de traitement de l'eau, de toxicologie et de contamination chimique, ainsi que d'étudier la question des dispositifs de traitement d'eau potable au point d'utilisation.

La nécessité d'incorporer une lampe de désinfection est indispensable lorsque les normes sur la qualité microbiologique et le règlement du Québec ne sont pas respectés dans les filtres au charbon.

#### 4.3.2.1 Prolifération bactérienne sans recirculation

Les bactéries, dans le protocole sans recirculation et sans injection bactérienne (réf. Tableau 15), sont présentes dès le départ dans le charbon activé, puisque qu'on les retrouve dans les prélèvements du bassin de consommation. On voit par la suite une prolifération considérable dans le bassin de consommation qui dépasse rapidement la norme acceptée pour la qualité de l'eau potable, soit de 500 bactéries par mL (Santé et bien-être social Canada, 1978) après 6 heures. La prolifération est moins prononcée dans le module de stockage au départ, mais dépasse aussi la norme après 48 heures. Ceci s'explique peut-être par la différence de température entre les deux bassins, la croissance étant plus rapide avec un $Q_{10}$ plus élevé.

L'injection <u>d'Escherichia coli.</u>, pour simuler une contamination de type fécale extérieure, accentue la prolifération dans le module de stockage (réf.

Tableau 18) pour le compte total de bactéries. Ici, on constate que les coliformes fécaux traversent la barrière du filtre au charbon activé même au temps zéro, rendent l'eau impropre à la consommation. Ceci démontre que la grosseur des macropores du filtre dépasse largement la norme de 5 micromètres pour la filtration des bactéries et kystes.

Dans le protocole 4, on voit que la quantité de coliformes fécaux et totaux disparaissent après 6 heures (réf. Tableaux 17 et 19). Ainsi, les coliformes meurent de façon naturelle étant donné que l'eau du robinet est potable pour le consommateur, ne contient pas tous les éléments essentiels tels les sucres ou autres nutriments pour la survie d'Escherichia coli. Les protocoles 2 et 4 ne vérifient en aucun cas l'efficacité bactéricide de la lampe UV, le temps de prélèvement entre les échantillons étant de trop longue durée. Par contre, le nombre de bactéries total augmente et dépasse la norme. Cependant, l'expérience reste valable pour la vérification de l'appareil à long terme avec le dénombrement des bactéries totales.

Ces deux protocoles nous prouvent bien la nécessité d'inclure un appareil de désinfection afin d'obtenir une bonne qualité microbiologique dans cet

appareil de purification.

Aussi, on constate qu'au protocole 4, lorsque la température est plus froide dans le bassin de réfrigération, soit de 9,5 °C, la prolifération est de beaucoup diminuée.

4.3.2.2 Qualité microbiologique et température

Le groupe des coliformes, et plus particulièrement Escherichia coli., constituent les meilleurs organismes indicateurs. En effet, ces organismes ont une résistance aux radiations ultraviolettes beaucoup plus prononcée que celle d'autres entérobactéries pathogènes. C'est pourquoi notre étude inclut plusieurs vérifications microbiologiques, soit pour les coliformes totaux et fécaux. On trouve généralement dans les eaux potables traitées une foule de microorganismes qui sont bien plus nombreux que les coliformes. Ainsi, le dénombrement des bactéries totales est plus fiable pour vérifier l'efficacité de la lampe UV.

Pour que la qualité microbiologique de l'eau soit respectée, une température maximale de 15 °C est acceptable (Santé et Bien-être social Canada, 1978).

Les températures supérieures à 15 °C favorisent la croissance d'organismes nuisibles et les problèmes de goût, d'odeur, de couleur et de corrosion peuvent s'en trouver accrus. Le maintien d'une température d'au plus 15 °C permettra d'éviter le recours à d'autres sources qui, bien que plus froides, pourraient être insalubres.

On note que la température obtenue lors de notre expérience est supérieure à 15 °C dans le bassin de réfrigération, sauf dans le quatrième protocole.

### 4.3.3 Pouvoir de désinfection de la lampe UV.

#### 4.3.3.1 Prolifération bactérienne avec recirculation

Une croissance considérable de bactéries (réf. Tableau 8) a été constatée dans le réservoir de réfrigération, où la recirculation passe dans le charbon activé. La quantité de bactéries mesurées dépasse même la norme après 72 heures. Par contre, on remarque que dans le module de stockage, où la recirculation ne se fait qu'au niveau de la lampe UV, il n'y a aucune croissance bactérienne, ceci malgré une température très élevée, variant de 16 à 29,5 °C. Ceci ne

nous indique pas que la lampe possède une efficacité bactéricide, étant donné qu'il n'y a pas de bactérie dans l'eau de distribution au départ. La lampe empêche la venue de nouvelle bactéries, et par conséquant leur prolifération; ce qui est très limité ou ce qui est considéré comme inefficace pour un système total de désinfection.

Si on compare les protocoles 1 et 3, (réf. Tableaux 8 et 15), on remarque une différence notable dans le taux de croissance bactérienne totale. Par exemple, dans le module de stockage au protocole 1, on obtient un dénombrement variant entre 0 et 8 bactéries après 48 heures, tandis que pour le protocole 3, on obtient déjà plus de 4312 bactéries par 0,5 mL dans l'eau.

Par contre, même si la prolifération est de beaucoup diminuée dans le réservoir de réfrigération (réf. Tableaux 8 et 15), soit plus de 10 000 bactéries sans recirculation dans l'UV contre environ 200 bactéries, les normes ne sont pas respectés. A 72 heures, les conditions bactériologiques ne sont pas salubres, dépassant 500 bactéries par mL.

La prolifération dans le réservoir de réfrigération provient principalement du filtre au charbon activé. Comme nous l'avons vu dans le cadre

théorique, la croissance bactérienne dans ces filtres soulève un problème, considéré majeur pour cet appareil.

Dans le protocole 2, (réf. Tableau 12), on remarque une diminution considérable des bactéries de type coliforme dans le module de stockage de 0 à 24 heures (réf. Tableaux 11 et 13), mais une augmentation par la suite des bactéries totales. Il s'ensuit une inefficacité bactéricide lors de la simulation de contamination; deux hypothèses peuvent expliquer ce phénomène:

1 - la température est trop élevée, ce qui entraîne une croissance extrêmement rapide des bactéries, augmentant la turbidité, affectant ainsi l'efficacité de la lampe;

2 - la longeur d'onde d'irradiation n'est pas efficace pour le type de bactéries en prolifération.

Il est à noter que les bactéries présentes dans le réservoir de réfrigération de tous les protocoles, ont dû être purgées lors de la prise d'échantillonnage. La purge des bactéries n'a pas été affectée par la résistance du filtre qui possèdait plusieurs réseaux d'écoulement préférentiels.

### 4.3.4 Efficacité de filtration du CAG

#### 4.3.4.1 Bactériologique

Comme mentionné précédement, le filtre ne retient pratiquement aucune bactérie et contribue fortement à l'augmentation bactérienne dans l'appareil de purification, rendant l'eau traitée par ce dernier impropre à la consommation.

#### 4.3.4.2 Physico-chimiques

Peu de substance chimique n'a été captée ou adsorbée par le filtre (réf. Tableaux 20 et 21). Ceci s'explique en grande partie par la mauvaise compression du charbon qui laisse l'eau passer en ligne droite entre les particules de charbon. Ainsi l'eau ne passant pas à l'intérieur des granules du charbon n'est que partiellement filtrée.

### 4.3.5 Conclusion et Recommandations

Selon les résultats de l'étude effectuée sur ce prototype d'appareil de traitement d'eau potable au point d'utilisation, l'efficacité bactéricide n'est pas conforme et le système de filtration n'est pas

adéquat pour produire, en toute sécurité, une eau de bonne qualité pour fins de consommation.

C'est pourquoi, avant d'entreprendre d'autres études afin d'améliorer ce purificateur, plusieurs recommandations sont jugées nécessaires;

1 - isoler complètement l'appareil de toute source de chaleur extérieure;

2 - compacter les grains de charbon activé au maximum, afin de permettre une bonne performance du filtre;

3 - ajuster adéquatemant la calibration du système de température;

4 - fermer le module de stockage à l'air ambiant en posant un couvercle sur le dessus du réservoir.

5 - mettre une lampe de désinfection plus efficace pour le type de bactéries présents;

6 - modifier la conception de la cartouche du filtre au charbon activé;

7 - modifier les entrés et sorties du système de recirculation pour le module de stockage.

De plus, l'appareil devra correspondre aux "Recommandations" établies par le ministère de la Santé et Bien-être social Canada (Santé et Bien-être social Canada, 1979);

1 - tous les appareils de traitement d'eau au point d'utilisation par les rayons ultraviolets devraient être munis d'un détecteur de lumière calibré avec précision, qui réagit à une longueur d'onde de 253,7 nm, et couplés à un dispositif à sécurité intégrale, qui puisse empêcher l'écoulement de l'eau ou qui déclenche un avertisseur sonore lorsque la dose émise est inférieure à 16 000 $\mu W.s.cm^{-2}$. Il faudrait avoir recours à un réducteur de débit;

2 - posséder un filtre qui retient les kystes de plus de 5 $\mu m$;

3 - tenir compte de la teneur en fer, de la turbidité et la couleur de l'eau avant de choisir les appareils auxiliaires qui seront utilisés;

4 - ces appareils ne devraient pas être utilisés avec de l'eau brute ou polluée. La limite supérieure proposée pour le nombre de bactéries admissibles est de 1 000 coliformes totaux/100 mL ou de 100 coliformes fécaux/100 mL;

5 - tous les modèles d'appareils à rayons ultraviolets vendus au Canada pour le traitement de l'eau contaminée par des bactéries devraient être soumis à des épreuves semblables à celles qui sont décrites dans le rapport de Santé et Bien-être social Canada, 1979, pour s'assurer qu'ils purifient l'eau de façon satisfaisante;

6 - après une période de stagnation, laisser couler l'eau afin de vidanger les bactéries et de s'assurer d'obtenir de l'eau fraîchement traitée;

7 - les tubes aux rayons ultraviolets doivent posséder une gaine de quartz, à forte teneur en silice et dotée de propriétés optiques semblables, afin de conserver une température de fonctionnement de 40 °C; il ne faut pas oublier que les basses températures peuvent affecter le fonctionnement de la lampe;

8 - un mécanisme d'attente ou de retardement doit permettre un réchauffement de deux minutes avant que l'eau ne pénètre dans l'appareil;

9 - l'unité doit être conçue de façon à permettre un nettoyage mécanique fréquent de la

surface de la gaine en contact avec l'eau;

10 - les matériaux de construction ne doivent pas répandre des matières toxiques dans l'eau;

11 - l'appareil doit être conçu de façon à protéger l'utilisateur contre les chocs électriques et les doses excessives de radiations.

# CHAPITRE V - CONCLUSION GENERALE

Il est essentiel de filtrer l'eau du robinet lorsqu'elle contient une quantité excessive de chlore, de fer, ou tout autre élément nocif pour la santé. Aussi, plusieurs consommateurs utilisent des purificateurs d'eau potable domestique parce qu'ils ont peur des polluants pouvant se retrouver dans l'eau. Les purificateurs au charbon activé sont, en général, considérés comme étant une alternative efficace pour l'élimination des substances organiques qui engendrent souvent des problèmes de goût et d'odeurs. Par contre, l'enlèvement des substances inorganiques supposément toxiques est laissé aux autres appareils de purification, tel les appareils de traitement par osmose inverse.

Les résultats obtenus à partir des protocoles effectués pour le systême de désinfection, ont indiqué que celui-ci possède une efficacité nulle pour une eau contaminée. On observe aussi une inefficacité lors de la filtration concernant l'enlèvement des substances organiques et inorganiques. De plus, il n'est pas sécuritaire au point de vue bactériologique, étant donné qu'il subit une prolifération bactérienne considérable. Par contre, plusieurs tests ont démontré, pour d'autres

appareils utilisant un filtre au GAC, que le type de bactéries présentes à la sortie étaient inoffensives pour la santé (Tobin et al., 1977; Camper et al., 1986). Mais il reste qu'avec la prolifération bactérienne dans le CAG, il est préférable que l'eau ait subi une désinfection au préalable, afin d'éliminer tout risque pour la santé (Tobin et al., 1977).

Même en purifiant l'eau au maximum, avec les techniques normalement en vigueur, on élimine une très faible partie des polluants qui nous entourent et nous menacent. L'air et la nourriture que nous consommons comportent également des risques de pollution qui sont souvant plus élevés que l'eau consommée au point d'utilisation. En effet, le risque de mort prématurée associé au chloroforme de l'eau est 10 000 fois plus faible que celui associé à la cigarette. Donc ce n'est pas parce qu'un appareil est efficace qu'il est utile.

Aussi, la responsabilité de la qualité de l'eau potable devrait être prise en charge par les municipalités. Des efforts devraient être pris pour réduire la concentration des substances toxiques à l'usine de traitement. Cependant, si les consommateurs désirent utiliser un appareil de filtration domestique en guise d'alternative, ceux-ci doivent en connaître les limites et les risques encourus.

# CHAPITRE VI - BIBLIOGRAPHIE


APHA, AWWA, WPCF, (1985), Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, 16ième édition, Washington, DC20005, 1193 p.

AWWA, (1987), Committee Report: Microbiological Considerations for Drinking Water Regulation Revisions, American Water Works Association, Organisms in Water Committee, 78(5):81-84.

Bell, F.A.,Perry, D.L., Smith, J.K, Lynch, S.C., (1984), Studies on Homes Water Treatment Systems, Journal of American Water Works Association, 76:4:126.

Bellen, G., Anderson, M., Gottler, R., (1988), Management of Point-of-Use Drinking Water Treatment Systems, National Sanitation Foundation, Assessment Services, par Water Engineering Research Laboratory of Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 75 p.

Belley, J. et Delisle, C., (1988), Vérifications expérimentals d'un purificateur de type 50-S NSA., Ecole Polytechnique de l'Université de Montréal, 5 p.

Bewer, W.S., Carmichael, W.W., (1979), Microbiological Characterization of Granular Activated Carbon Filter Systems, Journal of American Water Works Association, 71(10): 738-741.

Cairo, P.R., McElhaney, J., Suffet, I.H., (1979), Pilot Plant Testing of Activated Carbon Adsorption Systems, Journal American Water Works Association, 71(11):660-673.

Calderon, R.L., (1987), An Epidemiological Study on the Bacteria Colonizing Granular Activeted Carbon Point-of-Use Filters, Point-of-Use Rept., 5:2:1.

Calderon, R.L., Dufour,A.F., Mood, E.W., (1987), Health Significance of Bacteria Associated With Piont-of-Use Granular Activated Carbon Filters, présentée au Water Quality Assessment Conferance, Dallas, Texas.

Camper, A.K., LeChevalier, M.W., Brodaway, S.C., McFeters, G.A., (1985), Growth and Persistence of Pathogens of Granular Activeted Carbon Filters, Applied Environmental Microbiology, 50:1378.

Camper, A.K., LeChevalier, M.W., Brodaway, S.C., McFeters, G.A., (1986), Bacteria Associated With Granular Activeted Carbon Particles in Drinking Water, Applied

Environmental Microbiology, 52:434.

Camper, A.K., Broadaway, S.C., LeChevalier, M.W., McFeters, G.A., (1987), Operational Variables and Release of Colonized Granular Activated Carbon Particules in Drinking Water. Journal of American Water Works Association, 78(5):70-73.

Cotruvo, J.A., et Vogt, C., (1984), Development of Revised Primary Drinking Water Regulations, Journal of American Water Works Association, 76:11:34.

Courtelyou, J.R., McWhinnie, M.A., Riddiford, M.S., Semrad, J.E., (1954), Effects of Ultraviolet Irradiation on Large Populations of Certain Water-Born in Motion 1 . The Development of Adequate Agitation to Provide an Effective Exposure Period, Applied Microbiology, 2:227.

Courtelyou, J.R., McWhinnie, M.A., Riddiford, M.S., Semrad, J.E., (1954), Effects of Ultraviolet Irradiation on Large Populations of Certain Water-Born in Motion II. Some Physical Factors Affecting the Effectiveness of Germicidal Ultraviolet Irradiation, Applied Microbiology, 2:269.

Desjardins, R., (1986), Théorie du traitement de l'eau. Département de Génie Civil, Université de Montréal,

Montréal, 383 p.

Dobbs,R.A., Cohen,J.M., (1980), Carbon Adsorption Isotherms for Toxic Organics, USEPA 600/880-023, Office of Research and Development, Waste Water Treatment Device, Cincinnati, Ohio.

Ellner, S., (1986), Case Study of an Ultraviolet Wastewater Disinfection System. 9ème Symposium on Wastewater Treatement, p. 49-58.

Fiessenger, F., Richard, Y., (1975), La technologie du traitement des eaux potables par le charbon actif granulé: le choix d'un charbon. Techniques et Sciences municipals, 70(7): 271-283.

Fiore, J.V., Babineau, R.A., (1977), Effect of an Activated Carbon Filter on the Microbial Quality of Water, Applied and Environmental Microbiology, 34(5):541.

Geldreich, E.E., Taylor, R.H., Blannon, J.C., Reasoner, D.J., (1985), Bacterial Colonization of Point-of-use Water Treatment Devices. Journal of American Water Works Association, 77(2):72-81.

Geldreich, E.E, Nash, H.D., Reasoner, D.J., Taylor,

R.H., (1972), The Necessitu of Controlling Bacterial Populations in potable Water: Community Water Supply. Journal of American Water Works Association, 64:9:596.

Gosselin, F., (1978), Etude expérimentale de la variation des rapports de survie d'Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Pseudomonas aeruginosa à des températures froides et pH différents, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées, Université de Montréal, Montréal, 140 p.

Greve, D.F., Fultz, R.L., (1987), Point-of-Use Treatment for Turbidity Removal in Municipal System. Journal of American Water Works Association, 79(10):45-52.

Interim Requirement for Registration of Bactériostatic Water Treatment Units for Home Use. Federal Regulation, (Aug.5.1976).

Kantardjieff, A., (1986), Désinfection des effluents urbains par irradiation aux rayons ultraviolets. 9ème Symposium on Wastewater Treatment, p.49-58.

Laboratory Testing of Point-of-Use Ultraviolet Drinking Water Purifiers. Public. 79-EHD-33. Envir. Health Directorate, Departement of National Health and Welfare,

Ottawa, Canada, 1979.

Lemay, Les purificateurs d'eau, Revue Protégez-Vous, Le Magazine de l'Office de la protection du consommateur, juillet 1988, 29-43;61-63 pp.

Letendre, S., (1987), Etude du comportement des filtres à charbon actif biologique d'une station de production d'eau potable en climat froid, Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées, Université de Montréal, Montréal, 149 p.

Love, O.T., Miltner, R.J., (1985), Controlling Volatil Organic Compounds in Ground Water Used for Drinking, USEPA 625/4-85/016.

McDaniels, A.E., Bordner, R.H., (1983), Effects of Holding Time and Temperature on Coliform Numbers in Drinking Water. Journal of American Water Works Association, 74:9:458-463.

McNeely, R.N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., (1980), Références sur la qualité des eaux: Guide des paramètres de la qualité des eaux. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Environnement Canada, Ottawa, 100 p.

Manwaring, J.F., Zdep, S.M., Sayre, I.M., (1986), Public Attitudes Toward Water Utilities. Journal of Americain Water Works Association, 80:6:34-40.

Ministry of the Environment, (1986), Information on the Use of Home Water Treatment Devices, Ontario, On-02-674.

National Sanitation Foundation, (1988), Drinking WaterTreatment Units: Health Effects, Standard Number 53, Ann Arbor, Michigan 65, p.

Ontario Minisrty of the Environment, (1978), Ultraviolet Disinfection of Domestic Sewage and Stormwater. Wastewater Treatment Section, Pollution Control Branch.

Peel, R.G., Benedek, A., (1980), Attainment of Equilibium in Activated Carbon Isotherm Studies, Environmental Science and Technology. 14(1):66-71.

Perry, D.L., Smith, J.A., Lynch,S.C., (1981), Development of Basic Data and Knowledge Regarding Organic Removal Capabilities of Commercially Available Home Water Treatment Units Utilizing Activated Carbon. Phase 3: Final Report, Gulf South Research Institut, New Orleans, La.,

74p.

Reasoner, D.J., Blannon, J.C., Geldreich, E.E., (1987), Microbiological Characteristics of Third-Faucet Point-of-Use Devices. Journal of American Water Works Association, 79(10):60-67.

Reasoner, D.J., Geldreich, E.E.A., (1985), New Medium for the Enumeration and Subculture of Bacteria from Potable Water, Applied Environmental Microbiology, 49:1:1.

Regunathan, P., Beauman, W.H., (1987), Microbiological Characteristics of Point-of-Use Precoat Carbon Filters. Journal of American Water Works Association, 79(10):67-76.

Regunathan, P., Beauman, W.H., Kreush, E.G., (1983), Efficiency of Point-of-Use Treatment Devices. Journal of American Water Works Association,75(1):42.

Rozelle, L.T., (1987), Point-of-use and Point-of-entry Drinking Water Treatment, Journal of American Water Works Association, 79(10):53-60.

Santé et Bien-être social Canada, 1979, Elimination des matières organiques des eaux de boisson par ozonation, biodégradation et adsorption sur charbon activé. Direction

de l'hygiène du milieu, Ottawa, 79-EHD-45.

Santé et Bien-être social Canada, 1977, Qualité Microbiologiques des eaux potables. Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa, 77-EHD-2.

Santé et Bien-être social Canada, 1977, Méthodes d'analyses et d'étude des purificateurs d'eau à usage domestique. Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa, 77-EHD-8.

Santé et Bien-être social Canada, 1979, Mise à l'épreuve, en laboratoires, d'appareils à rayons ultraviolets pour purifier l'eau potable au point d'utilisation. Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa, 79-EHD-33.

Santé et Bien-être social Canada, 1978, Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa, 83 pp.

Scott Yo, R., (1987), Responding to Customer Concerns About Home Treatment Devices. Journal of American Water Works Association, 79(10):34-38.

Schulhof, P., (1979), An Evolutionary Approach to

Activated Carbon Treatment. Journal of American Water Works Association, 71(11):648-659.

Survey and Test Protocols for Point-of-Use Water Purifiers, (1977), Department of Health and Welfare. Publ.77-EHD-8, Ottawa, Canada.

Taylor, R.H., Allen, M.J., Geldreich, E.E., (1979), Testing of Home Use Carbon Filters. Journal of American Water Works Association, 71(10):577-580.

Tobin, R.H., Junkin, E.A., Eaton, F.E., (1984), Survey of the Use of Activated Carbon Water Filters in Canada Homes. Canadien Journal Public Health, 75:384.

Tobin, R.S., (1987), Testing and Evaluating Point-of-Use Treatment Devices in Canada. Journal of American Water Works Association, 79(10):41-45.

Tobin, R.S., Smith, D.K., Horton, A., Armstrong, V.C., (1983), Methods for Testing the Efficacy of Ultraviolet Light Disinfection Devices for Drinking Water. American Americain Water Works Association, 77:9:481-484.

Tobin, R.S., Smith, D.K., Lindsay, J.A., (1981), Effects of Activated Carbon and Bacteriostatic Filters on

Microbiological Quality of Drinking Water. Applied and Environmental Microbiology 41(3):646.

Vajdic, A.H., (1970), The Inactivation of Viruses in Water Supplies by Ultraviolet Irradiation, Journal of Water Pollution Control Federation, 108:24.

Walter, H., (1980), Biological Effects of Ultraviolet Radiation. Cambridge, University Press.

Water Pollution Control Federation, (1986), Wastewater Disinfection. Manual of Practice FD-10. Facilities Development.

Weber, W.J., (1972), Physicochemical Process for Water Quality Control. Wiley-interscience, New-York, 640 p.

Workshop on Point-of-Use Activated Carbon Filters for Use on potable Waters, Health and Welfare Canada, Ottawa, Ontario (Juin 1982).

Yip, R.W., Konasewich, D.E., (1972), Ultraviolet Sterilization of Water-Its Potentiel and Limitations, Journal Water Pollution Control Federation, 110:14.

# ANNEXE

Tableau A1. Moyenne des substances toxiques rejetées par les appareils à osmose inverse

| Contaminant | Cellulose Acetate Membrane | Thin-Film Composite Membrane |
|---|---|---|
| Arsenic (III) | 37 | 68 |
| Arsenic (V) | 89 | 96 |
| Barium | 93 | 99 |
| Cadmium | 93 | 99 |
| Chromium (III) | 90 | 99 |
| Fluoride | 93 | 97 |
| Lead | 95 | 97 |
| Mercury (II) | 60 | 62 |
| Nitrate | 39 | 94 |
| Selenium (IV) | 89 | 98 |
| Silver | 72 | 98 |
| Sodium (Cl) | 84 | 97 |
| TDS | 84 | 97 |

*Data from Culligan Inc., Northbrook, Ill.
†Conditions: pressure = 40-70 psi (276-483 kPa), total salt concentration in feed = 1,500 mg/L (average), pH = 7-8, temperature = 70-74°F (21-23°C)

Tableau A2. Moyennes des contaminants organiques rejetés par différents type de membrane provenant des osmoses inverses

| Contaminant | Average Influent Concentration *µg/L* | Rejection According to Membrane Type *percent* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Cellulose Acetate | Polyamide | Thin-Film Composite |
| Total organic carbon | 2,000 | 90 | 91 | 89 |
| Total organic halogen | 89 | 34 | 64 | 88 |
| *Cis*-1,2-dichloroethylene | 58 | <10 | 19 | 25 |
| 1,1,1-Trichloroethane | 6 | <10 | 92 | >99 |
| Trichloroethylene | 111 | <10 | 32 | 78 |
| Benzene | 26 | <10 | 18 | 15 |
| Operating pressure—*psi (kPa)* | | 235 (1,620) | 150 (1,034) | 200 (1,379) |

*Test period—13 h; table adapted from Sorg and Love[21]

Tableau A3. Pourcentage de réduction des THM par les appareils de GAC commercials

| Type of Unit | Number of Units Tested | Average Percent Reduction |
|---|---|---|
| Faucet and countertop (including pour-through) | 7 | 6-74 |
| Cold tap | 4 | 15-34 |
| Line bypass | 12 | 23-99 |

*1980 data, adapted from Bell et al[25]

Tableau A4. Pourcentage des composés organiques halogènes provenant des eaux souterraines, par le CAG

| Type of Unit | Number of Units Tested | Percent Reduction‡ |
|---|---|---|
| Faucet and countertop (including pour-through) | 3 | 99-40 |
| Cold tap | 1 | 99-80 |
| Line bypass | 6 | 99-93 |

*1,1,1-Trichloroethane; carbon tetrachloride; trichloroethylene; tetrachloroethylene
†Adapted from Bell et al[25]
‡Highest initial value, lowest ending value; based on rated life of each unit

Tableau A5. Pourcentage de réduction des composés organiques halogènes provenant des eaux de surface, par le CAG

| Type of Unit | Number of Units Tested | Percent Reduction‡ |
|---|---|---|
| Faucet and countertop (including pour-through) | 3 | 99-20 |
| Cold tap | 1 | 79-30 |
| Line bypass | 6 | 99-45 |

*p-Dichlorobenzene, hexachlorobenzene, chlordane
†Adapted from Bell et al[25]
‡Highest initial value, lowest ending value; based on rated life of each unit

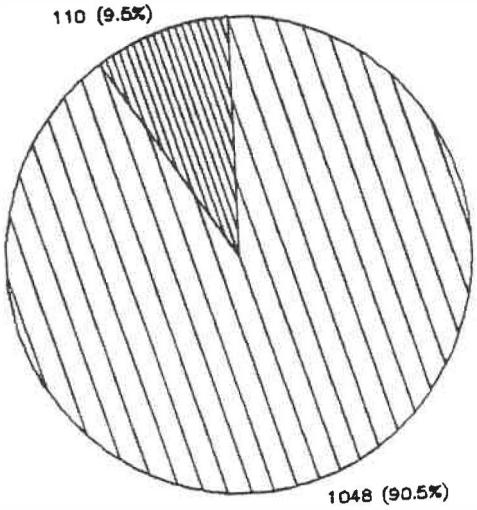



Figure A1. Evaluation de la qualité de l'eau fait par le publique (1205 consommateurs).

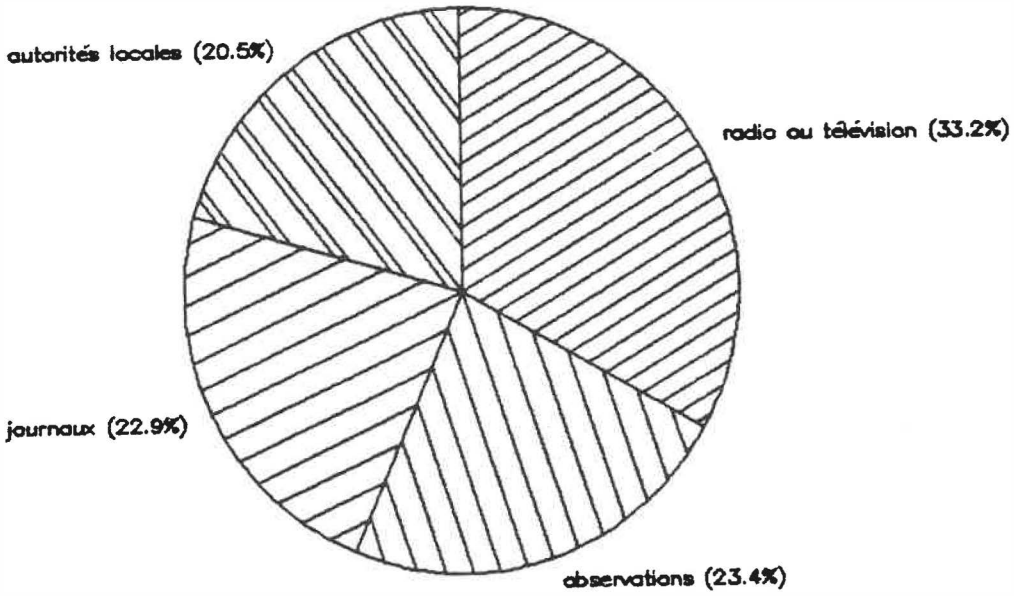



Figure A2. Degré d'information données pour les consommateurs face aux incidents survenuent dans le réseau.

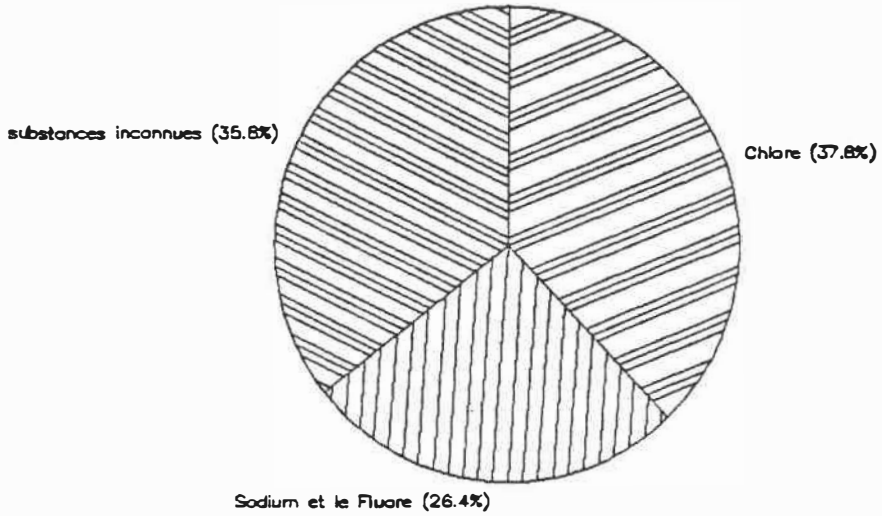



Figure A3. Types de substances dangeureuses qui soulèvent la crainte chez le consommateur.

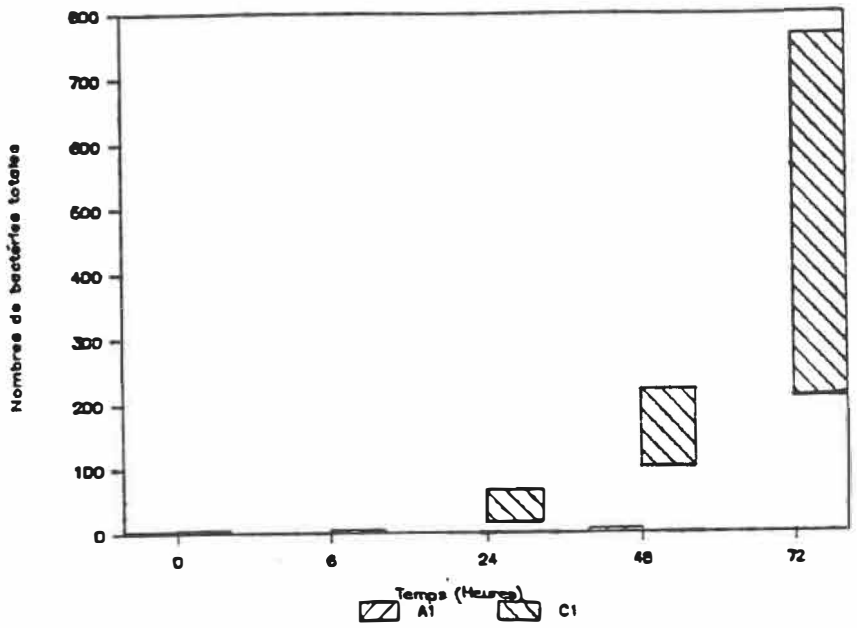



Figure A4. Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocol 1.

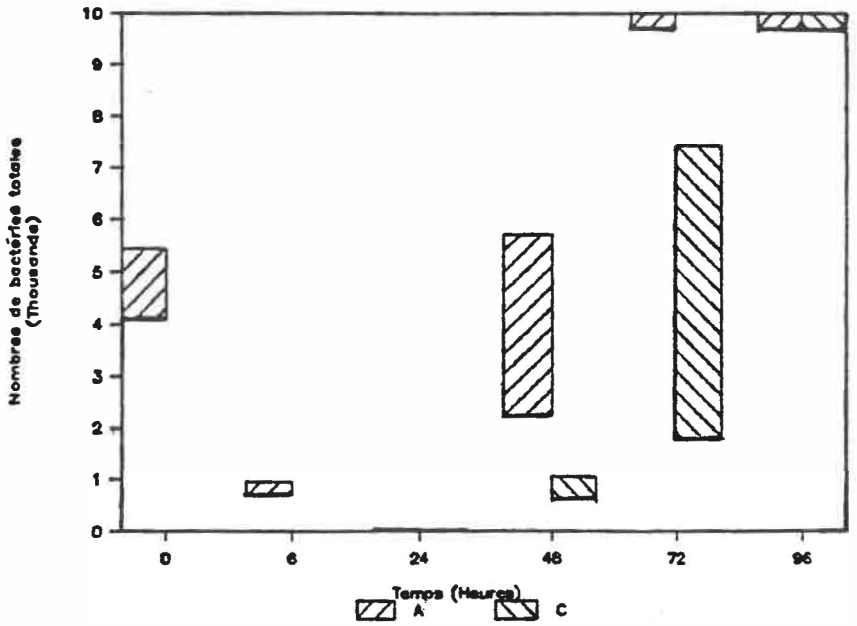



Figure A5. Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocol 2.

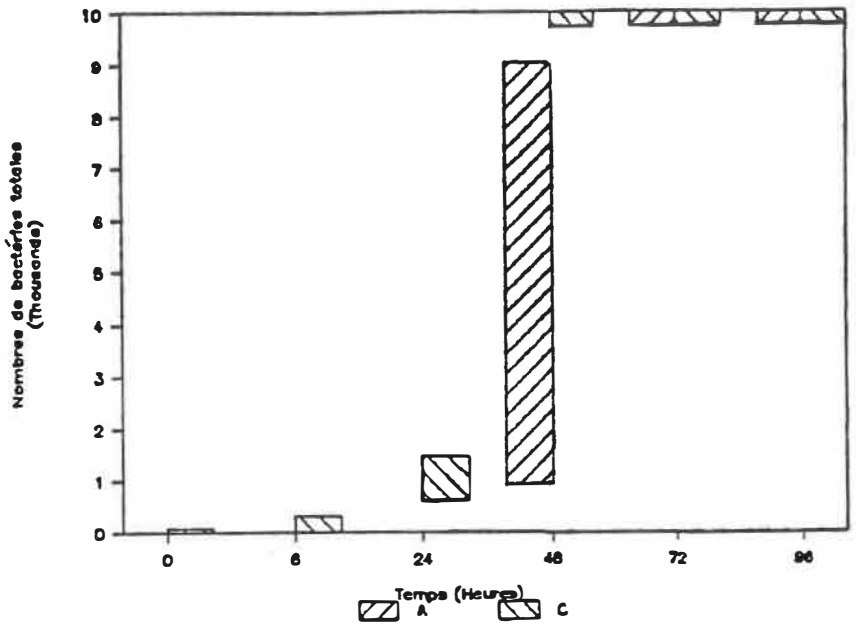



Figure A6. Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocol 3.

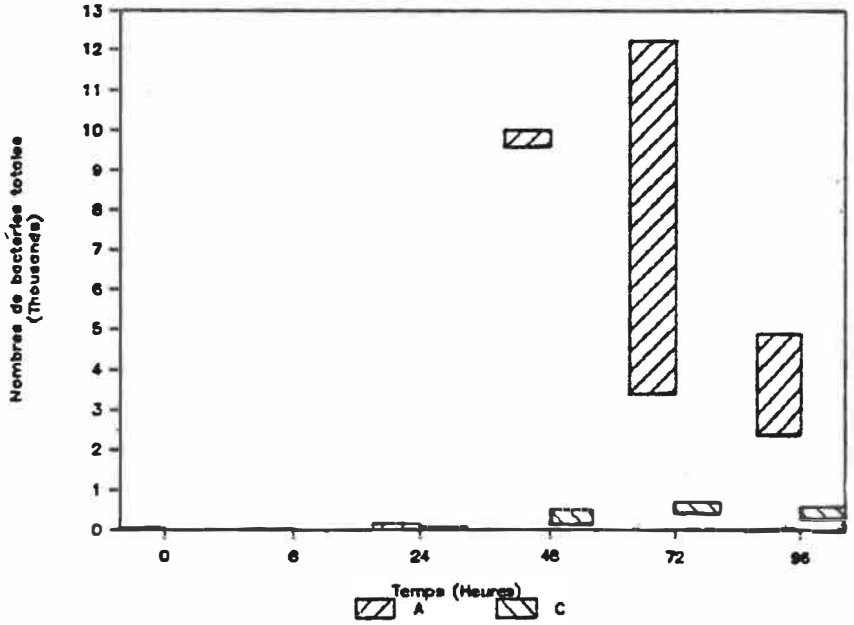



Figure A7. Dénombrement du compte total de bactéries obtenu au protocol 4.

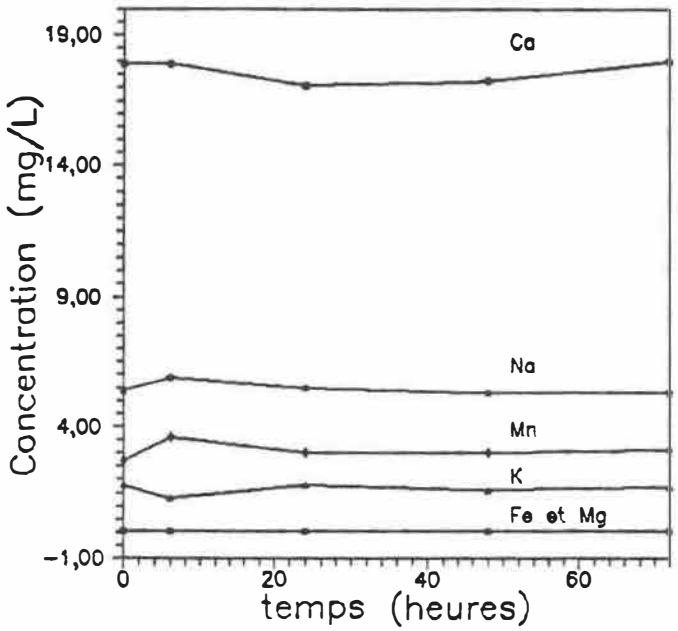



Figure A8. Variations des divers éléments provenant du réservoir de consommation.

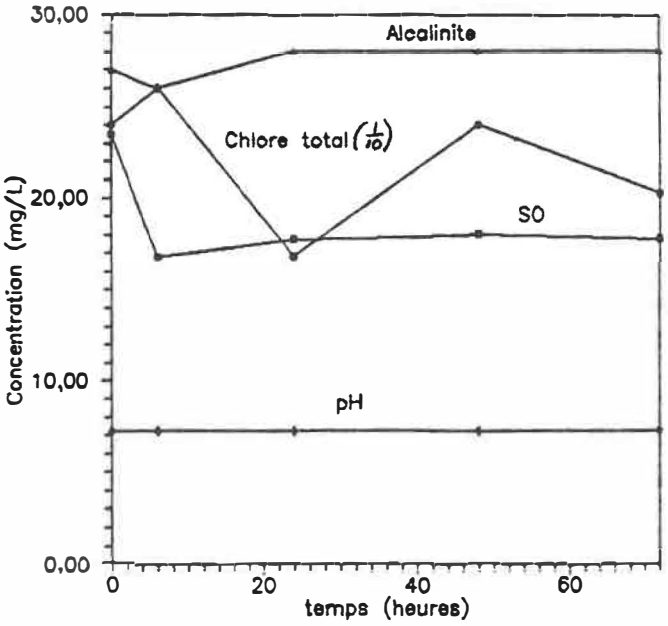



Figure A9. Variations des résultats physico-chimiques provenant du réservoir de consommation.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00296644 6