ENSP
ECOLE NATIONALE DE LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion 2004

Risques sanitaires liés à l'utilisation d'appareils de traitements individuels et collectifs d'eau et de générateurs d'eau chaude dans le cadre d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*

Présenté par :
Melle RABIER Priscilla
Ingénieur ENSIL

Lieu de stage :
Afssa, unité UERE

Référents professionnels :
M. POPOFF Georges, Afssa
Mme RIVILLON Juliette, Afssa

Référent pédagogique :
M. SEUX René, ENSP

Remerciements

En premier lieu, je souhaite remercier **Mme CAAMAÑO**, responsable de l'Unité d'Evaluation des Risques liés à l'Eau (UERE) de l'Afssa, pour m'avoir accueillie au sein de l'Afssa dans son unité.

Je remercie tout particulièrement mes référents professionnels **M. POPOFF**, coordinateur scientifique, **et Mme RIVILLON**, chargée de projets scientifiques et techniques de l'Unité d'Evaluation des Risques liés à l'Eau, pour leur confiance, pour leurs conseils et pour toute la patience qu'ils ont eu envers moi.

Je tiens également à remercier, **Melle HARVEY**, chargée de projets scientifiques et techniques de l'Unité d'Evaluation des Risques liés à l'Eau, pour sa sympathie et la disponibilité dont elle a fait preuve à mon égard.

Je transmets ma reconnaissance à l'ensemble des personnes de la Direction de l'Evaluation des Risques Nutritionnels et Sanitaires (DERNS) et en particulier à l'Unité d'Evaluation des Risques liés à l'Eau qui m'a soutenue et aidée pour la réalisation de mon mémoire.

Je remercie également **Mme CARPENTIER**, **M. DEROUIN**, **M. MONTIEL et M. SEUX**, experts de l'Afssa et du CES ''Eaux'', pour leur disponibilité et la gentillesse dont ils ont fait preuve lors de nos entretiens.

Mes remerciements vont enfin à mon référent pédagogique, **M. SEUX,** directeur du LERES, pour ses conseils avisés et aux membres du jury pour toute l'attention qu'ils auront accordée à mon mémoire ainsi qu'à ma soutenance.

Sommaire

INTRODUCTION **1**

1 ANALYSE DU DANGER **3**

1.1 Nature du danger : oocyste de *Cryptosporidium* **3**

1.1.1 Taxonomie 3
1.1.2 Morphologie 3
1.1.3 Cycle parasitaire 3
1.1.4 Mesure de la viabilité et pouvoir infectieux 3
1.1.5 La résistance des oocystes 4

1.2 Effets chez l'homme **5**

1.2.1 La cryptosporidiose humaine 5
1.2.2 Mode de transmission 6
1.2.3 Facteur de risques d'infection 6
1.2.4 Populations sensibles 7
1.2.5 Epidémies liées à Cryptosporidium 8

1.3 Contamination des eaux **8**

1.3.1 Origine de la contamination 8
1.3.2 Niveau de contamination des eaux 9
1.3.3 Exploitation de données épidémiologiques 10

2 REGLEMENTATION **12**

2.1 Dispositifs réglementaires applicables à *Cryptosporidium* **12**

2.1.1 Réglementation française 12
2.1.2 Réglementation étrangère 13

2.2 Dispositifs réglementaires applicables aux traitements individuels et collectifs **13**

2.2.1 Législation française 13
2.2.2 Réglementation européenne et normalisation internationale 15
2.2.3 Marquage des appareils de traitements individuels et collectifs 15

2.3 Réglementation sanitaire relative aux générateurs d'eau chaude sanitaire et à leurs traitements **16**

2.3.1 Réglementation française 16
2.3.2 Règlementation étrangère 16

3 TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES ET GENERATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE **17**

3.1 Les traitements complémentaires individuels et collectifs **17**

3.1.1 Etat du marché 17
3.1.2 La classification 18

3.2 Les différents procédés de traitements complémentaires **18**

3.2.1 Procédé de filtration 18
3.2.2 Les résines échangeuses d'ions 23
3.2.3 Anti-tartre électromagnétique et traitements par inhibiteurs chimiques 25
3.2.4 Procédés de désinfection 26

3.3 Les générateurs d'eau chaude sanitaire **28**

3.3.1 Les besoins en eau chaude sanitaire 28
3.3.2 Energies utilisées 29
3.3.3 Mode de Production 29
3.3.4 Le traitement de l'eau chaude sanitaire 31
3.3.5 Entretien des équipements d'eau chaude sanitaire 31

4 EVALUATION DES RISQUES LIES AUX TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES 33

4.1 Méthode appliquée pour l'évaluation des risques 33

4.2 Données scientifiques : les procédés de traitement et leur efficacité 33

4.2.1 La désinfection 33

4.2.2 La filtration 35

4.3 Evaluation qualitative des risques à partir d'entretiens scientifiques 36

4.3.1 Impact des appareils sur les oocystes de *Cryptosporidium* 36

4.3.2 Risques liés aux appareils 38

4.3.3 Eléments manquants pour évaluer le risque sanitaire 40

5 RECOMMANDATIONS ET GESTION EN CAS DE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR *CRYPTOSPORIDIUM*. 41

5.1 Recommandations générales 41

5.2 Recommandations par rapport aux risques liés aux appareils de traitements et aux générateurs d'eau chaude 42

5.2.1 Recommandations pour la population immunocompétente 42

5.2.2 Recommandations pour les populations sensibles 43

5.3 Mesures de prévention face au risque de Cryptosporidiose 43

CONCLUSION 45

BIBLIOGRAPHIE 47

LISTE DES ANNEXES I

ANNEXE 1 : CYCLE DE VIE DE CRYPTOSPORIDIUM II

ANNEXE 2 : CAUSES D'EPIDEMIES DE CRYPTOSPORIDIOSE III

ANNEXE 3 : PRINCIPALES EPIDEMIES RECENSEES LIEES A L'EAU IV

ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS EN OOCYSTES DE *CRYPTOSPORIDIUM* RETROUVEES DANS L'EAU VI

ANNEXE 5 : CONCENTRATION EN OOCYSTES DANS L'EAU LORS D'EPIDEMIES IX

ANNEXE 6 : MODES DE PRODUCTION D'ECS X

ANNEXE 7: NORME NSF 53 XI

ANNEXE 8 : TABLEAUX RELATIFS A L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS DE DESINFECTION EN STATION DE POTABILISATION VIS-A-VIS DE CRYPTOSPORIDIUM XX

ANNEXE 9 : QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION DE TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS ET DE PREPARATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE LORS D'UNE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR CRYPTOSPORIDIUM ... XXI

Liste des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Concentration en oocystes dans des eaux traitées lors d'épidémies et en situation normale……..11

Figure 2 : Cycle de vie de *Cryptosporidium*……II

Listes des tableaux

Tableau 1 : Tableau de synthèse des principales causes d'épidémies……....III

Tableau 2 : Tableau des principales épidémies recensées liées à *Cryptosporidium*….....IV

Tableau 3 : Tableau de synthèse des niveaux de concentration en oocystes de *Cryptosporidium* retrouvés dans différents types d'eaux dans le monde……..VI

Tableau 4 : Tableau de synthèse des concentrations retrouvées dans l'eau lors d'épidémies de cryptosporidiose…….….IX

Tableau 5 : Tableau de synthèse des différents modes de production d'ECS…….X

Tableau 6 : Efficacité du chlore…….…….XX

Tableau 7 : Efficacité du dioxyde de chlore…….XX

Tableau 8 : Efficacité de l'ozone……....XX

Tableau 9 : Efficacité des traitements UV……....XX

Liste des sigles utilisés

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AFNOR : Agence Française de NORmalisation

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

ANSI : American National Standards Institute

CEN : Commission Européenne de Normalisation

CES : Comité d'Experts Spécialisé

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

CSP : Code de la Santé Publique

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DDASS: Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DERNS : Direction d'Evaluation des Risques Nutritionnels et Sanitaires

DGS : Direction Générale de la Santé

DI 50 : Dose Infectante 50 %

DTU : Document Technique Unifié

EAS : European Approval Scheme

ECS : Eaux Chaudes Sanitaires

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

InVS : Institut national de Veille Sanitaire

LERES : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé

NSF : National Sanitation Foundation

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

POE : Point-of-Entry

POU : Point-of-Use

RU : Royaume Uni

SIDA : Syndrome Immuno-Déficitaire Acquis

SISE-EAUX : Système d'Information en Santé Environnement sur les Eaux

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TC : Comité Technique

UERE : Unité d'Evaluation des Risques liés à l'Eau

UAE : Union des entreprises d'Affinage de l'Eau

USA : United States of America

UV : Ultra-Violet

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

WG : Work Group

Glossaire

By-pass : circuit de dérivation réalisé sur le trajet d'un fluide et servant à éviter ou à isoler un appareil.

Cachectique : état pathologique caractérisé par une maigreur extrême.

Dessication : élimination de l'humidité d'un corps.

DI 50 : dose pour laquelle 50% des sujets sont infectés.

Document Technique Unifié : document professionnel de référence regroupant les normes relatives au sujet traité.

Enterocytes : cellules intestinales.

Entéropathogène : microorganisme qui peut provoquer une maladie intestinale.

Epithélium : tissu non vascularisé constitué d'une ou plusieurs couches de cellules collées les unes aux autres, sans espaces ni liquide interstitiels, qui recouvre et protège la surface externe du corps ainsi que ses cavités naturelles, ou qui forme la partie sécrétoire des glandes.

Excystation : étape du cycle biologique de certains protozoaires parasites où il y a rupture des kystes, après leur ingestion par l'organisme hôte, et libération dans ce dernier de formes actives et mobiles du protozoaire.

Hémopathie : affection des cellules du sang et/ou des organes hématopoïétiques (moelle osseuse, ganglions, rate).

Immunocompétent : personne qui présente des réactions immunitaires normales.

Immunodéprimé : personne qui ne présente pas des réactions immunitaires normales.

Karst : relief particulier aux région de calcaires et résultant de l'action, en grande partie souterraine, d'eaux qui dissolvent le carbonate de calcium.

Kyste : forme de résistance de certains organismes vivants, à paroi épaisse et protectrice.

Lyophilisation : déshydratation par sublimation à basse température et sous vide que l'on fait subir à certaines substances pour les conserver.

Maladie de Crohn : entérite segmentaire ou plurisegmentaire pouvant atteindre n'importe quel partie du tube digestif d'évolution chronique et ulcéro-scléreuse. Il s'agit d'une colite ulcérante.

Myalgies : douleurs musculaires.

Nosocomiale : se dit d'une infection contractée lors d'un séjour en milieu hospitalier.

Oocyste : forme capsulée sous laquelle les coccidies sont excrétées du tube digestif.

Réponse cellulaire : réponse immunitaire assurée par les lymphocytes T.

Réponse humorale : réponse immunitaire assurée par les anticorps provenant des lymphocytes B.

Scholzite : film solide et non poreux, générés par les polyphosphates de zinc, qui se dépose sur les surfaces cathodiques.

Ubiquiste : se dit d'une espèce ou d'un organisme à grande plasticité écologique, qui se rencontre dans des milieux très différents.

Vacuole : cavité du cytoplasme des cellules, limitée ou non par une membrane, renfermant diverses substances.

Virulence : capacité, pour un microorganisme, de s'introduire dans un organisme hôte, de s'y multiplier et d'y provoquer une maladie.

INTRODUCTION

Depuis 1980, la multiplication des cas de gastro-entérites liés à la consommation d'eau de boisson a conduit à intensifier les recherches sur la présence de pathogènes dans les ressources en eau. De nombreux protozoaires dont *Cryptosporidium* se sont révélés présenter un risque élevé pour la santé publique.

Cryptosporidium est à l'origine de nombreuses épidémies d'origine hydrique dont la plus spectaculaire est celle de Milwaukee (Etats-Unis) en 1993 avec 400 000 cas de cryptospiridioses et 112 morts. En France, trois épidémies de cryptosporidioses (Sète en 1998, Dracy-le-Fort en 2001 et Divonnes-lès-Bains en 2003) impliquant la contamination soit de la ressource par une rivière en crue, soit du réseau de distribution des eaux destinées à la consommation humaine, ont été rapportées récemment.

L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (Afssa) a été saisie par la Direction Générale de la Santé (DGS) de plusieurs demandes d'avis relatives à cette thématique et a rendu un premier rapport intitulé " Rapport sur les infections à protozoaires liées aux aliments et à l'eau : évaluation scientifique des risques associés à *Cryptosporidium sp.* " en septembre 2002.

L'épidémie survenue à Divonnes-lès-Bains (Ain) en 2003, dernière épidémie recensée en France, a soulevé le problème du risque lié à la contamination des installations de traitement d'eau privées et collectives. Pour répondre à ce problème la DGS, *via* la lettre de saisine du 22 octobre 2003, a demandé à l'Afssa un «appui scientifique et technique sur les risques liés à l'utilisation d'adoucisseurs et de préparateurs collectifs et individuels d'eau chaude lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium* ». Aussi le présent mémoire constitue-t-il un élément de réponse à ladite saisine.

Dans un premier temps une analyse du danger basée sur la description de l'agent pathogène et de ces effets sur la santé a été réalisée. Elle a permis de recenser les causes d'épidémie liées à *Cryptosporidium* et les concentrations en oocystes susceptibles d'être retrouvées lors de ces épidémies au niveau des appareils de traitements complémentaires et des générateurs d'eau chaude sanitaire.

Puis une description technique des différents procédés de traitements complémentaires et de production d'eau chaude a été effectuée. Les caractéristiques des appareils les plus significatives pour l'évaluation du risque ont été identifiées.

Ensuite, sur la base de ces données techniques, des ressources bibliographiques et d'entretiens avec des experts de l'Afssa et du CES ''Eau'', une évaluation qualitative des risques liés aux appareils de traitement complémentaires et aux générateurs d'eau chaude lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium* a été réalisée.

Enfin, suite à l'évaluation de risque, des recommandations à appliquer lors d'une épidémie de cryptosporidiose et des mesures de gestion concernant les appareils de traitement complémentaires et les générateurs d'eau chaude ont été proposées.

Ce travail peut constituer une piste pour l'amélioration de la connaissance des risques liés aux traitements complémentaires de l'eau et aux générateurs d'eau chaude sanitaire lors d'une épidémie liée à *Cryptosporidium*. Ces connaissances permettront de mieux appréhender la sortie de crise lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*.

1 ANALYSE DU DANGER

1.1 Nature du danger : oocyste de *Cryptosporidium*

Cryptosporidium est un protozoaire qui parasite les entérocytes* de l'intestin grêle de l'homme et de nombreuses espèces animales (notamment bovins, caprins). Les hôtes infectés excrètent dans leurs selles de nombreux oocystes* directement infectants [79].

1.1.1 Taxonomie

Cryptosporidium sp. est décrit pour la première fois en 1907 dans les cryptes gastriques d'une souris. Les cryptosporidies sont des protozoaires appartenant au *phylum Apicomplexa*, à la classe des sporozoaires, à la sous-classe *Coccidia*, à l'ordre des *Eucoccidia* au sous ordre *Eimerina* et à la famille des *Cryptosporidiidae* qui comprend un seul genre *Cryptosporidium* [79] . Environ 20 espèces de *Cryptosporidium* ont été décrites chez plus de 117 espèces de mammifères dans le monde. La plus étudiée est *Cryptosporidium parvum*, avec à ce jour, 10 génotypes identifiés chez de nombreux mammifères domestiques et sauvages, dont au moins 4 sont infectants pour l'homme (principalement génotypes I et II et génotypes du porc et du chien) [14]. *Cryptosporidium parvum* est la seule espèce cryptosporidienne qui a été trouvée chez l'Homme immunocompétent [49].

1.1.2 Morphologie

Les oocystes de *Cryptosporidium parvum* de forme ovoïde sont caractérisés par un diamètre de 4 à 6 µm. Ils contiennent 4 sporozoïtes infectieux, un corps résiduel et une vacuole*. Leur paroi est lisse et peu épaisse. Une ligne de suture longitudinale, très souvent observée en microscopie, permet la sortie des sporozoïtes lors de l'infection d'un nouvel hôte [79]. Ils sont chargés négativement en surface [86].

1.1.3 Cycle parasitaire

Le cycle de multiplication (annexe 1) comprend des stades asexués et sexués et se déroule dans la cellule parasitée en localisation extra-cytoplasmique. De plus, ce cycle est caractérisé par des phénomènes d'auto-infection (schizogonies multiples) et par des rétro-infections (reproduction sexuée avec production d'oocystes se recyclant directement dans l'intestin sans passer par le milieu extérieur) induisant une prolificité importante du parasite. Les différents stades intracellulaires se développent dans la bordure en brosse des cellules épithéliales intestinales, au sein de vacuoles parasitophores et peuvent parfois atteindre les épithéliums* des voies biliaires ou respiratoires. La multiplication asexuée conduit à la contamination de proche en proche de l'épithélium digestif et à son altération. La multiplication sexuée conduit, pour sa part, à la formation d'oocystes matures qui sont éliminés dans les selles et sont directement infectants [14].

1.1.4 Mesure de la viabilité et pouvoir infectieux

Le mécanisme physiopathologique de l'infection est encore inconnu [79]. De plus la mise en évidence d'oocystes de *Cryptosporidium sp.* dans l'eau ou l'alimentation ne permet pas de préjuger de leur viabilité ou de leur infectiosité. Certains de ces oocystes peuvent être non viables, c'est-à-dire incapables de libérer les 4 sporozoïtes qu'ils contiennent ou bien les sporozoïtes libérés peuvent être incapables de pénétrer dans les entérocytes et avoir perdu leur caractère infectieux. La mesure de la viabilité des oocystes repose sur la mise en évidence du dékystement des oocystes ou sur la coloration des acides nucléiques. Quand à l'évaluation de l'infectiosité, elle est mise en évidence in vivo par inoculation orale à des souriceaux nouveaux-nés ou in vitro par culture cellulaire [14].

D'après l'étude de Dupont *et al*. de 1995 la dose infectante 50% pour des adultes humains infectés par Cryptosporidium parvum (DI 50*) est de 132 oocystes [43]. Ainsi la totalité de la population est infectée avec 214 oocystes. Cette dose infectante varie avec

l'état immunitaire de la population cible et la virulence de la souche source d'infection. Il n'y a cependant pas de consensus sur la dose infectante minimale, qui est estimée entre 10 (Percival et al.,2000 ; Meinhardt *et al*., 1996), 30 (Sterling et Marshall,1999) ou 100 oocystes (Meinhardt *et al*., 1996) [95,85,118]. L'Afssa, dans le cadre du rapport « Infections à protozoaires liées aux aliments et à l'eau » [14], a suivi une démarche d'appréciation quantitative des risques afin d'établir des estimations quantitatives du risque quotidien et annuel d'infection et de maladies liées à *Cryptosporidium parvum* dans la population générale et la population immunodéprimée suite à la consommation d'eau de distribution contaminée.

1.1.5 La résistance des oocystes

L'oocyste est la forme de résistance du parasite. Il se montre très résistant vis-à-vis de conditions environnementales variées mais, pour initier un nouveau cycle parasitaire, il doit rester viable tout en conservant son pouvoir infectant.

A) <u>Survie des oocystes dans l'eau :</u>

- Les oocystes conservés en solution aqueuse à température ambiante (15 à 20°C) restent viables pendant plus de trois mois [87].
- Ils survivent pendant plus d'une année en solution salée de Hanks à 4°C, bien que la viabilité soit réduite de 70%. Des oocystes ont même été conservés pendant 18 mois à 4°C [87].
- Les oocystes peuvent survivre plus d'un an dans l'eau de mer [87].
- La dureté de l'eau (variation de 0,5-110 ppm de $CaCO_3$) n'a pas d'effet sur la viabilité des oocystes [31].

B) <u>Effets de la chaleur :</u>

- Les oocystes sont détruits ou perdent leur infectiosité à la suite d'un traitement par la chaleur : 1 minute à 72°C, ou 5 minutes à 64°C [14] ou au moins 30 minutes à 65°C [79]. En 1994, Fayer a constaté que des oocystes de *Cryptosporidium parvum*, présents dans l'eau, sont devenus non infectants à une température d'au moins 64,2°C et pour un temps de 2 minutes au moins. Toutefois certains oocystes ont conservé leur caractère infectieux pour une température de 59,7°C et un temps de 5 min [45].
- La pasteurisation à haute température pour des temps courts (71,7°C pour 15 secondes) détruit l'infectiosité des oocystes de *C. parvum* présent dans l'eau ou le lait [87].
- Leur infectivité est perdue après dessiccation* pendant au moins 4 heures. La dessiccation entraîne une perte complète de viabilité [14]. De même la lyophilisation* leur fait perdre leur pouvoir infectant [87,109].

C) <u>Effets du froid :</u>

- Les oocystes restent infectants pendant 2 à 6 mois à 4°C [87].
- La congélation à -70°C inactive les oocystes. A -20°C, cette inactivation est incomplète [14].
- Des oocystes ont survécu à -10°C pendant une semaine [87].
- Une congélation subite et rapide tue les oocystes : 100% sont tués après immersion dans de l'azote liquide [87].
- Une congélation lente et progressive semble conserver les oocystes : certains ont survécu à la congélation à -22°C pendant plus d'un mois et 23% restent viables pendant 21 heures à -22°C. De plus, des oocystes congelés de -0,3°C par minute, de +4°C à -70°C, dans une solution avec 5% de DMSO (diméthylsulfoxyde) étaient infectieux pour des hamsters immunodéprimés [87].

D) Survie dans les matières fécales :

- Les oocystes survivent dans les excréments humains et bovins : 34% des oocystes sont toujours vivants dans des fèces de vache semi-solides maintenues pendant 176 jours à température ambiante. De plus leur survie est supérieure à un an dans les fèces, à 4-6°C.
- Ils sont particulièrement résistants dans les lisiers, les effluents d'élevage et les effluents d'origine humaine, et sont donc susceptibles de contaminer les eaux superficielles et souterraines en particulier les eaux karstiques* [87].

E) Effet du pH et de la salinité

- Lors de l'étude de Robertson *et al*. en 1992, la viabilité des oocystes a été affectée par l'ajout d'additifs de traitement d'eau communément utilisés. Cependant lorsque le pH a été ajusté à 6 ces effets se sont atténués [105]. Ceci suggère que les effets étaient plutôt dus aux variations de pH, lors de l'introduction des additifs dans l'eau, qu'aux additifs eux mêmes [19]. Il est à noter que les oocystes survivent à faible pH, puisqu'ils résistent à l'acidité gastrique [87].
- Parmi des oocystes conservés dans de l'eau avec une salinité de 35% pendant 40 jours, plus de 20% excystent. De même, les oocystes maintenus pendant 12 semaines à 10°C dans une salinité de 30% restent infectieux pour la souris [48].

F) Effet de la lumière

La lumière ne semble pas indispensable à la survie du parasite : les parasites demeurent viables après plus de 35 jours passés à 4°C dans l'obscurité et dans l'eau de mer. En 1995, Chauret *et al*. ont observé que l'exposition à la lumière du soleil n'affectait pas la viabilité des oocystes. Dans les conditions de laboratoire, l'exposition aux UV (265 nm) et en lumière noire (365 nm) ont permis d'observer une décroissance du nombre d'oocystes viables [31]. On peut penser que les fortes températures lors des expériences en lumière naturelle ont affecté la suspension d'oocystes, masquant alors les effets négatifs des UV et de la lumière noire [19].

Par conséquent, l'oocyste apparaît hautement résistant dans l'environnement, surtout dans les conditions fraîches et humides [87]. Les études de Barer et Wright en 1990 indiquent que des temps courts, une température ambiante et un taux d'humidité élevé sont des facteurs importants pour la survie des oocystes [12]. L'excystation* apparaît pour des températures élevées (environ 37°C), libérant des sporozoïtes qui ont un temps de vie court en absence de cellules hôte à parasiter [19].

Le gel ne semble pas éliminer la totalité des oocystes : seule une forte gelée avec une chute rapide de la température réduit apparemment de façon importante le nombre d'oocystes infectants. Pour certains auteurs, le potentiel d'infectivité de l'oocyste dans les conditions environnementales dure jusqu'à ce que les sporozoïtes soient endommagés par l'effet physique du gel, ou jusqu'à ce que les réserves énergétiques sous forme d'amylopectine soient consommées, en réponse directe aux températures environnementales [87].

1.2 Effets chez l'homme.

1.2.1 La cryptosporidiose humaine

Cryptosporidium sp. est considéré comme un entéropathogène* fréquent en médecine humaine et vétérinaire. Chez le sujet immunocompétent*, la cryptosporidiose survient après une incubation de 7 ± 2 jours et de 12-13 jours chez les patients infectés du VIH*. Chez l'homme, la cryptosporidiose est de gravité variable suivant le terrain. Chez le sujet immunocompétent, *Cryptosporidium* peut provoquer : une diarrhée aqueuse, une déshydratation plus ou moins modérée, des crampes, des douleurs abdominales, un ballonnement, et dans certains cas de la fièvre, des myalgies*, des nausées et des vomissements [14].

Les symptômes sont spontanément résolutifs (5 jours en moyenne). Cependant, chez les patients immunodéprimés, en particulier chez les personnes atteintes du SIDA, ces symptômes peuvent persister durant de longues périodes (diarrhée chronique), croître en intensité et se compliquer d'une atteinte des voies biliaires, d'une déshydratation sévère et conduire à un état cachectique*. Ces complications peuvent directement être la cause de décès. Des localisations pulmonaires ont été signalées chez les malades immunodéprimés [14].

A ce jour, il n'existe aucun traitement de la cryptosporidiose. Seules la paramomycine et la nitazoxanide ont une efficacité partielle sur les symptômes mais ne permettent pas d'éliminer le parasite.

1.2.2 Mode de transmission

La transmission de la cryptosporidiose se fait par ingestion d'oocystes de *Cryptosporidium* infectants provenant de fèces animales ou humaines. Le réservoir du parasite est l'intestin de l'homme et des animaux sauvages ou de rente [79]. La transmission de la maladie peut se faire directement d'animal à homme par contact (animaux domestiques ou animaux de rente), de personne à personne en liaison avec une mauvaise hygiène (nurseries, pratiques sexuelles), ou accidentellement (laboratoires d'analyses médicales). Elle peut se faire indirectement *via* les aliments (lait non pasteurisé, jus de fruits souillés, coquillages contaminés, légumes ou fruits irrigués par des eaux contaminées), *via* l'eau de boisson contaminée par les eaux usées ou des effluents d'élevage, ou *via* la baignade (piscines, eaux naturelles).

La transmission par voie hydrique est la plus recensée. Sa fréquence est accrue quand la taille de la population desservie par une unique ressource en eau augmente, et surtout quand cette ressource est mal protégée contre la contamination par les eaux usées ou les effluents d'élevage produits par cette population [79].

1.2.3 Facteur de risques d'infection

A) <u>Facteur lié au parasites</u>

A partir d'études expérimentales réalisées chez des volontaires sains non immuns vis-à-vis de *Cryptosporidium*, il a pu être défini des DI50* variables selon les souches de *Cryptosporidium parvum*, ce qui est en faveur de la présence de facteurs de virulence* liés au parasite, non encore identifiés à ce jour [14].
A ce jour aucun "marqueur" génétique ou biochimique pouvant être relié à un mécanisme physiopathologique de virulence n'a été identifié. La virulence chez l'Homme des autres génotypes de *Cryptosporidium parvum* et des autres espèces de cryptosporidies n'est pas connue. Cependant, des arguments expérimentaux obtenus chez l'animal indiquent une susceptibilité hôte-dépendante vis-à-vis de certains génotypes. En particulier, le génotype I apparaît très peu infectieux chez l'animal [14].

B) <u>Facteurs liés à l'hôte</u>

Sur la base d'observations épidémiologiques et expérimentales, le jeune âge et le déficit immunitaire de l'hôte sont les deux principaux facteurs de risque identifiés, aussi bien chez l'animal que chez l'Homme [14].

a) Le jeune âge

Les enfants présentent une plus grande sensibilité à *Cryptosporidium*. La cryptosporidiose est observée avec une fréquence plus élevée chez l'enfant de 1 à 3 ans, mais elle est moins fréquente chez l'enfant de moins d'un an. Ce parasite est chez eux la première cause de diarrhée chronique et des épidémies sont fréquemment signalées dans les garderies [79]. Toutefois, en France, peu de données épidémiologiques sont disponibles.

b) Etat immunitaire

L'état immunitaire est un facteur prépondérant, avec d'une part l'immunité humorale* où il semblerait qu'à défaut d'un rôle protecteur démontré, les anticorps puissent entraîner une augmentation de la DI50, et d'autre part une implication de l'immunité cellulaire* clairement établie comme en témoignent les cryptosporidioses décrites au cours de l'infection par le VIH.

Le rôle de l'immunité humorale (évaluée par la présence d'anticorps sériques dirigés contre des antigènes de *Cryptosporidium)* n'est pas bien connu. Il n'existe aucune étude de séroprévalence en France. A l'étranger, des valeurs de séroprévalence comprises entre 15 et 80% ont été rapportées aux USA, en Amérique du Sud, en Chine et en Europe (Italie, Allemagne). D'après les études de Frost *et al.* en 2000 et de Zu *et al.* en 1994, il semble que la séroprévalence augmente avec l'âge [128,49]. Elle serait également dépendante des conditions d'alimentation en eau de distribution d'après les études de Isaac-Renton (1999) et de Mc Donald (2001) [69,83]. Au cours de plusieurs épidémies, dont celle de Milwaukee, une forte augmentation de la séroprévalence a été observée chez les sujets exposés. Le rôle de ces anticorps sériques est mal défini sachant que l'immunité locale est prédominante sur une infection digestive d'après Flanigan (1993) [46].

Deux études sur volontaires sains, dont celle d'Okuysen en 1998, indiquent cependant une moindre réceptivité à l'infection des sujets préalablement infectés par *Cryptosporidium parvum* ou présentant des anticorps sériques spécifiques [89].
Enfin, chez les patients atteints du SIDA, il a été démontré la persistance d'une réponse immunitaire digestive humorale non protectrice vis-à-vis de la cryptosporidiose.

Pour les malades immunodéprimés ou fragilisés, autres que ceux atteints du SIDA, très peu de données sont disponibles, et proviennent essentiellement de l'étude de l'épidémie de Milwaukee. Comparé à une population de sujets non immunodéprimés, le risque relatif d'infection par cryptosporidies est de 2,56 chez les enfants atteints d'hémopathie* maligne. Il est non significatif pour les greffés de moelle et autres patients présentant des déficits de l'immunité. Ces données sont à prendre avec précaution en raison des effectifs faibles des études concernées. La cryptosporidiose entraînerait une décompensation brutale des maladies inflammatoires du côlon (Crohn*, colite ulcérante) [14].

c) Influence du portage asymptomatique

Une enquête récente effectuée parmi le personnel et les enfants des crèches de 25 hôpitaux français a révélé la présence d'oocystes de *Cryptosporidium sp.* chez 0,36% des adultes et 0,32% des enfants ne présentant pas de symptomatologie digestive (Datry *et al.*, 2000) [35].

C) <u>Autres facteurs</u>

Parmi les facteurs suspectés, la possibilité de contamination nosocomiale* est évoquée. Elle est théoriquement possible en raison de l'infectiosité des oocystes dès leur émission, mais sa fréquence est très mal évaluée.

Le facteur saisonnier est également cité dans plusieurs études telles que celles de Clavel en 1996 ou d'Inungu en 2000 qui rapportent son influence dans la survenue des cryptosporidioses, chez l'enfant et chez l'adulte [32,68]. La distribution des cas semble être bi-modale au cours de l'année avec des incidences plus élevées entre mars et mai puis en septembre et octobre.

1.2.4 Populations sensibles

Les populations à risque sont, outre les patients immunodéprimés (en particulier les personnes atteintes du SIDA), les personnes âgées et les enfants en bas âge (du nouveau-né jusqu'à 5 ans).
Les facteurs aggravants pour l'adulte sont le contact avec les animaux domestiques et les voyages internationaux. La cryptosporidiose est répandue partout dans le monde.

L'infection humaine a été décrite en pays industrialisés et non industrialisés, aussi bien en zone urbaine que rurale. Le taux d'infection par *Cryptosporium* chez les personnes présentant des diarrhées varie entre 0,6 et 2% dans les pays industrialisés, et entre 4 et 32% dans les pays en voie de développement (voisin de 5% en Asie et de 10% en Afrique).

Des taux d'infection plus élevés sont observés chez les sujets atteints du SIDA (3 à 20% aux Etats-Unis, 50 à 60% en Afrique et à Haïti). Une enquête de prévalence réalisée en France hors épidémie en 1997 par Datry *et al*. (2000) dans 25 centres hospitaliers a montré que chez les patients infectés par le VIH, la cryptosporidiose a une prévalence de 3% significativement plus élevée que chez les adultes témoins (0,36%) ou chez les enfants de crèche (0,32%) et que le taux de prévalence pour l'ensemble de la population de l'étude n'est que de 1%.

1.2.5 Epidémies liées à Cryptosporidium

L'étude des facteurs potentiels de contamination réalisée sur 93 patients tirés au sort met en évidence une association significative entre cryptosporidiose et voyage à l'étranger, et aucune association avec des habitudes de consommation d'eau. Cependant les épidémies parfois massives de cryptosporidiose survenues ces dernières années aux USA et au Royaume-Uni (RU) sont principalement liées aux usages de l'eau. Ainsi, la consommation de l'eau dans les zones géographiques de forte densité de population est la principale voie d'exposition sur laquelle agir pour éviter la survenue de cryptosporidiose.

Les piscines et les parcs aquatiques ont été à l'origine de plusieurs contaminations groupées de baigneurs, mais ces épidémies portent sur un nombre de personnes plus limité. Elles peuvent avoir par contre une durée relativement longue (plusieurs semaines).

Les épidémies de cryptosporidioses liées à l'eau potable constituent depuis ces 20 dernières années un problème émergent. Dans les années 1990, *Cryptosporidium* constitue la principale cause d'épidémies hydriques au Royaume Uni [29]. La cryptosporidiose est responsable de nombreuses épidémies aux USA mais aussi en Europe (annexe 3). Pour ce qui concerne la France 3 épidémies récentes (Sètes 1998, Dracy le Fort 2001 et Divonnes-lès-bains 2003) ont été rapportées impliquant la contamination soit de la rivière en crue, soit du réseau de distribution des eaux destinées à la consommation humaine [14].

En terme de santé publique, il apparaît que la contamination des eaux de distribution publique non traitées ou mal traitées est la principale cause de survenue d'épidémie [79]. Aussi pour diminuer le nombre de cas de cryptosporisioses, il semble important de s'interroger sur les causes de survenue de la contamination et sur le niveau de contamination de l'eau lors d'une épidémie.

1.3 Contamination des eaux

1.3.1 Origine de la contamination

Cryptosporidium est un parasite ubiquiste*. Dans l'environnement il se présente uniquement sous la forme d'oocyste, seule forme capable de survivre en dehors de l'hôte infecté [79]. En raison de leur résistance aux conditions environnementales et aux différents traitements, les oocystes de *Cryptosporidium* possèdent un grand potentiel de transmission par voie hydrique.

La contamination, dite naturelle, de l'eau du réseau par *Cryptosporidium* peut se faire directement au niveau de la ressource ou indirectement au niveau du réseau de distribution.

Les causes de contamination directe au niveau de la ressource sont de deux types :

- une contamination de la ressource en eau par ruissellement lors des fortes pluies ou de la fonte des neiges,
- une contamination de puits par les eaux usées.

La contamination du réseau de distribution par *Cryptosporidium parvum* peut avoir plusieurs origines :

- introductions d'eaux contaminées dans les installations par des retours d'eaux, lors de travaux d'entretien ou de réparation, lors de casse, lors de vidange de réseau ou lors de dépressions dans les canalisations,
- des fuites ou des mauvaises connections dans le réseau de distribution,
- relargage possible des parasites à partir des biofilms [106]. Ce qui en l'état actuel des connaissances reste une hypothèse,
- Des procédés de traitements inadaptés,
- Des défaillances de traitement,
- Une combinaison de tous ces facteurs.

Les contaminations de réseau peuvent survenir *a priori* en n'importe quel point du système de distribution [14].

1.3.2 Niveau de contamination des eaux

A) Les eaux usées

Alors que l'assainissement des eaux usées semble pouvoir réduire la concentration des kystes de *Giardia* dans les eaux de surface, cela apparaît moins évident pour *Cryptosporidium* car les sources de contamination sont plus variées. Les effluents agricoles (en particulier les lisiers de bovins) seraient la source prépondérante dans certaines régions, les rejets domestiques le seraient dans d'autres. Toutefois, si un bassin versant reçoit des pollutions multiples (effluents agricoles, eaux usées), il obtient une contamination maximale. De même, la contamination dans les bassins versants de taille conséquente est permanente. La majorité des eaux de surface contient des oocystes de *Cryptosporidium* [79].

Le niveau de contamination en oocystes de *Cryptosporidium* dans les eaux usées peut être important. En effet, aux USA, d'après Rose *et al*. on retrouve en moyenne 3 000 à 5 000 oocystes/L en entrée de station d'épuration et jusqu'à 13 000 oocystes/L [108]. Dans certains prélèvements d'eaux usées épurées, le niveau de contamination peut atteindre 1 000 oocystes/L [18].

B) Les eaux de surface

Les eaux de surface (rivières, lacs naturels ou artificiels) représentent une source de plus en plus sollicitée pour la production d'eau potable des villes. L'industrialisation croissante et la concentration urbaine occasionnent des rejets d'eaux usées non traitées ou peu traitées, ponctuels et diffus dans les eaux de surface. En zone rurale, l'épandage des effluents agricoles joint au lessivage des sols par les pluies contribue également à la dégradation de la qualité microbiologique de ces eaux [79].

Le niveau général de contamination d'un cours d'eau varie dans le temps en fonction de son régime hydraulique notamment (selon les périodes de pluies ou lors d'étiages). Dans les eaux de surface, compte tenu des méthodes d'analyses actuelles, la majorité des échantillons montrent la présence de cryptosporidies à des teneurs variant entre 0,001 à 100 oocystes/L. Les variations sont importantes mais les valeurs les plus souvent rapportées sont inférieures à 10 oocystes /litre [14] (annexe 4).

C) Les eaux souterraines

En France, ces eaux sont souvent considérées *a priori* comme protégées, notamment vis-à-vis des parasites. En réalité, un nombre non négligeable de nappes est directement sous l'influence des eaux de surface (rivières, eaux de ruissellement). Il s'agit bien souvent de zones fissurées de type karstique, de massifs cristallins ou volcaniques [14].

Peu de données sont disponibles, actuellement sur les distances de migration des oocystes dans les eaux souterraines et les aquifères. La taille des oocystes limiterait leur infiltration dans le sol. Toutefois des distances de migrations significatives sont susceptibles d'être observées dans les aquifères rocheux fracturés, dans des puits ou des roches calcaires. Ainsi la contamination d'un puits au Texas a mis en évidence une contamination de quelques centaines de mètres dans un aquifère calcaire fracturé et fissuré [104].

Ainsi l'eau souterraine peut être contaminée par *Cryptosporidium*, notamment si elle est sous influence directe des eaux de surface. C'est ce qu'on démontré Moulton-Hancock *et al* (2000) aux USA. en analysant 383 échantillons d'eau potable d'origine souterraine. Ils ont mis en lumière que les puits artésiens étaient moins sujet à contamination que les drains horizontaux et les sources affleurantes [88,67].

La présence d'algues (diatomées en particulier), de spores de bactéries aérobies ou anaérobies et autres débris végétaux sont des indicateurs de l'influence des eaux de surface. C'est pourquoi, si les eaux en surface contiennent des parasites, ces eaux souterraines insuffisamment filtrées naturellement par le sol, peuvent être contaminées et doivent donc être traitées [14].

Dans les eaux naturelles, la concentration en oocystes peut être suffisante pour engendrer une épidémie de cryptosporidiose. Lorsque la concentration des oocystes dans l'eau brute est importante, ce qui peut être lié à une turbidité importante, il est possible de retrouver en très faible concentration (0,01 à 0,25 oocystes/L) des oocystes de *Cryptosporidium* dans l'eau traitée destinée à la consommation humaine (annexe 4), cette possibilité diminuant avec la complexité de la chaîne de traitement [79].

Les niveaux de concentration des oocystes en milieu naturel diffèrent en fonction du type d'eau. Ainsi la contamination des eaux superficielles ou karstiques est plus forte que celle des eaux souterraines, on parlera alors de sites ou zone à risque.

Le tableau en annexe 4 donne une indication sur les niveaux de contamination dans les différents types d'eau évoquées ci-dessus (eaux de surface, eaux souterraines, eaux usées…)

1.3.3 Exploitation de données épidémiologiques

A) Causes d'épidémies

Quelques auteurs ont fait le point sur les causes d'épidémies liées aux eaux destinées à la consommation humaine (Craun, Badenoch 1990). Les informations sur les évènements et les erreurs humaines qui conduisent à des épidémies de cryptosporidiose peuvent être utiles pour l'identification des sources de danger. Un point commun relevé lors des épidémies recensées est l'inadéquation des systèmes de désinfection et de filtration utilisés face au danger *Cryptosporidium*, voir leur mauvais entretien ou leur ancienneté sources de défaillances. La question de la responsabilité (entraînant des poursuites) en cas d'épidémies est devenue de plus en plus d'actualité, et cela pourrait influencer l'information qui est délivrée. Dans un nombre important d'épidémies, l'eau potable en cause était conforme aux directives de l'OMS pour les paramètres E. Coli et la turbidité. Dans la plupart des cas, une modification de la qualité de l'eau brute ou d'une opération de traitement serait en cause. Cependant lors de l'épidémie de Las Vegas aucune anomalie de traitement ou de qualité de l'eau n'a été enregistrée [29].

Les causes de survenue des épidémies liées à *Cryptosporidium* sont explicitées en annexe 3 et récapitulées dans un tableau de synthèse disponible en annexe 2.

B) Concentrations en oocystes dans l'eau potable lors d'épidémies

Lors des investigations épidémiologiques, certains aspects restent mal renseignés, notamment la concentration en oocystes dans l'eau lors de la survenue d'une épidémie. Ce point est particulièrement important dans la mesure où il permettrait d'estimer une concentration minimum en oocystes dans l'eau pour laquelle l'eau potable pourrait être

considérée comme sure. De plus, la détermination de la concentration en oocystes dans l'eau traitée serait particulièrement intéressante pour notre étude puisqu'elle nous permettrait de connaître la concentration en oocystes qui arrive aux différents appareils de traitements complémentaires de l'eau lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*.

Les niveaux de concentration en oocystes qui ont pu être mesurés lors d'épidémies de cryptosporidiose en France et à l'étranger sont synthétisés en annexe 5. Afin de déterminer une gamme de concentration en oocystes dans l'eau traitée susceptible d'entraîner une épidémie de cryptosporidiose le graphique suivant a été élaboré.

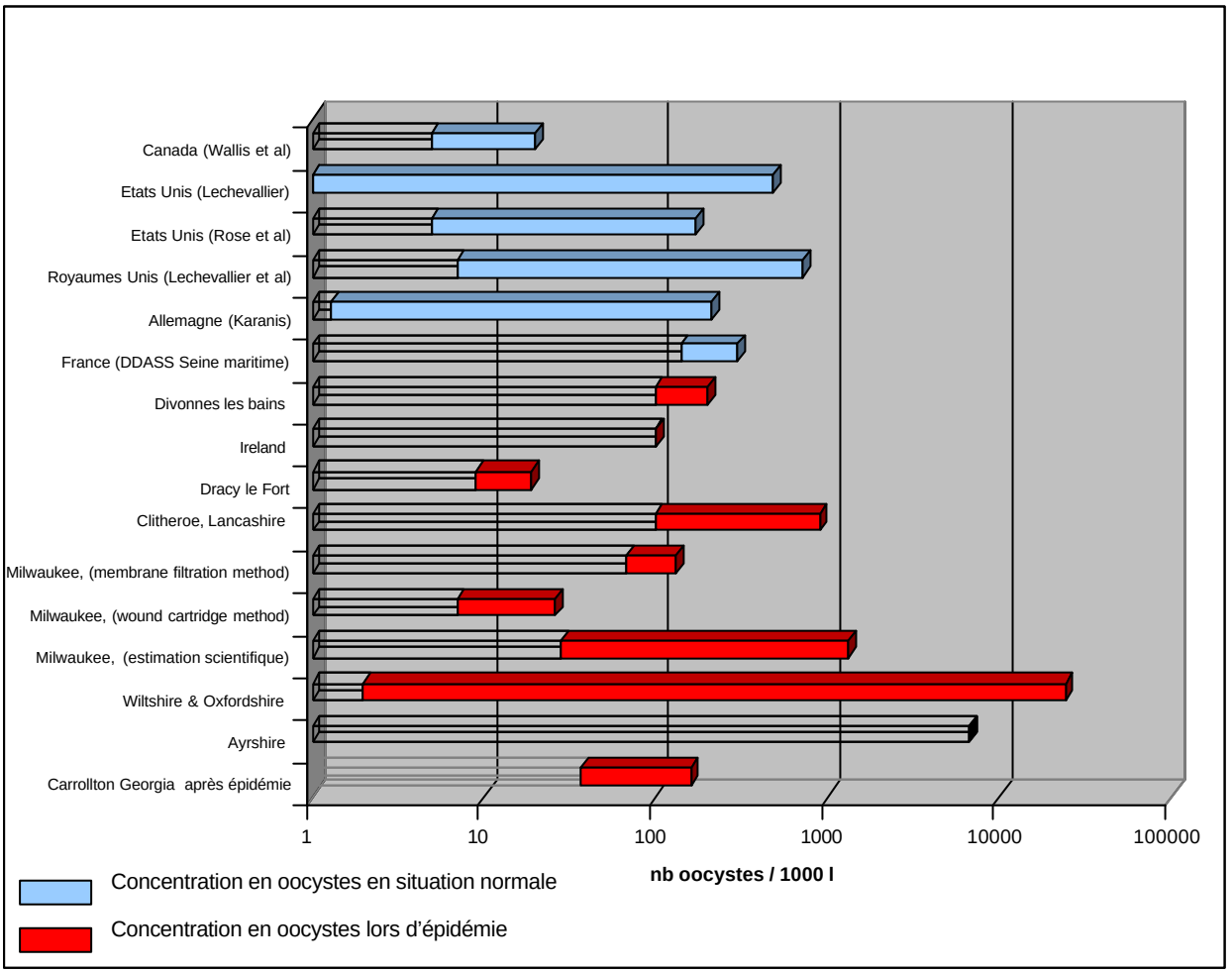

Figure 1: Concentration en oocystes dans des eaux traitées lors d'épidémies et en situation normale

La figure 1 permet de déterminer deux gammes de concentrations dans l'eau traitée :

- 0,009 occystes/L à 24 oocytes/L lors d'épidémies,
- 0 à 0,720 oocystes/L en situation normale.

Sur la base de comparaisons entre les concentrations en oocystes dans l'eau durant différentes épidémies et les études de routine sur l'eau traitée de Rose (1991) [108], Lechevallier (1991) [76], Karanis (1998) [73], Wallis (1996) [125] et de la DDASS* de Seine Maritime (1996) [36] une plage de concentration de 0,01 à 0,8 oocystes/L peut être proposée comme concentrations minimums pour engager une action d'information de la population. D'après une étude menée par Rose et Haas en 1995 entre 0,1 et 3 oocystes/L la survenue d'une épidémie serait probable. De plus ils estiment que pour les concentrations en dessous de cette gamme une épidémie serait probable mais difficile à mettre en évidence [58].

2 REGLEMENTATION

2.1 Dispositifs réglementaires applicables à *Cryptosporidium*

2.1.1 Réglementation française

Code de la Santé Publique art. R 1321-1 à R 1321-66

Le Code de la Santé Publique (CSP) transcrit, le 27 mai 2003, le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001.

Le CSP prévoit, dans son article R 1321-1, que « les eaux destinées à la consommation humaine ne doivent pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes, qu'elles doivent être conformes aux limites de qualité définies au I de l'annexe 13-1 du texte et qu'elles doivent satisfaire aux références de qualité fixées au II de l'annexe 13-1 du texte. »

L'annexe 13-1 du CSP ne comporte pas de limite de qualité pour les parasites mais une limite de 1 NFU pour la turbidité. Des études menées par Lechevallier *et al* en 1991 ont montré une corrélation entre la turbidité et la présence de *Cryptosporidium* [77,9]. Aussi, il est indiqué dans l'annexe que cette limite est applicable au point de mise en distribution, c'est-à-dire en sortie de production (après captage et traitement éventuel) pour les eaux d'origine superficielle et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2 NFU. Pour les installations de débit inférieur à 1 000 m^3 /j ou pour les unités de distribution qui desservent moins de 5 000 habitants, ces limites s'appliquent à compter du 25 décembre 2008. Entre le 25 décembre 2003 et le 25 décembre 2008, la limite de qualité est de 2 NFU au lieu de 1 NFU, les mesures appropriées devant être prises pour réduire le plus possible la turbidité au cours de cette période.

L'annexe 13-1 II fixe une référence de qualité de 0 bactérie sulfito-réductrice y compris les spores pour 100 millilitres en indiquant en commentaire que « *ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle. En cas de non-respect de cette valeur, une enquête doit être menée sur la distribution d'eau pour s'assurer qu'il n'y a aucun danger potentiel pour la santé humaine résultant de la présence de micro-organismes pathogènes par exemple des Cryptosporidium*. » Les spores de bactéries aérobies, qui sont fréquemment présentes dans les eaux brutes ont un comportement similaire à celui des *Cryptosporidium* vis-à-vis de la filtration. Leur détection dans une eau filtrée indique l'inefficacité de la filtration et par là même, la présence potentielle de *Cryptosporidium* sp. [14].

Par ailleurs, ce décret comporte des dispositions qui, indirectement, peuvent jouer un rôle important vis-à-vis des parasites. Il s'agit notamment du fait que les eaux d'origine superficielle doivent faire systématiquement l'objet d'un traitement comportant au minimum un traitement physique simple, c'est-à-dire une filtration, et une désinfection (art. R1321-38). Ce traitement doit être renforcé lorsque la qualité des eaux brutes est de plus mauvaise qualité, celle-ci étant évaluée en application de l'annexe 13-1 du CSP par différents paramètres portant notamment sur la contamination microbiologique (coliformes totaux, coliformes thermo-tolérants, streptocoques fécaux, salmonelles). En France depuis plusieurs décennies le traitement des eaux de surface avant distribution est systématique. Une règle équivalente systématique n'existait pas jusqu'alors pour les eaux souterraines influencées par des eaux de surface. La décision résultait d'une appréciation locale. La nouvelle disposition fixée pour la turbidité va constituer une référence importante pour caractériser les eaux à risques devant faire l'objet d'un traitement adapté [14].

2.1.2 Réglementation étrangère

Malgré le risque sanitaire lié à la présence de protozoaires dans l'eau, il n'y a actuellement pas, du point de vue des normes et des réglementations, de limite de qualité pour *Cryptosporidium* fixées par l'OMS.

En Europe, *Cryptosporidium* est réglementé uniquement au Royaume-Uni. Le « Drinking Water Inspectorate » exige un niveau inférieur à 10 oocysts/100 L d'eau produite et on dit qu'il y a «Criminal offense » si cette règle n'est pas respectée. On remarquera que cette valeur est comprise dans la plage de concentration définie comme minimale pour engager une action (cf partie 1.3.3.B).
Le Royaume Uni a légiféré sur *Cryptosporidium via* la réglementation sur l'eau de 2000 (n°3184). Elle est applicable, en ce qui concerne la cryptosporidiose, au 1er janvier 2001. Aussi les producteurs d'eau doivent évaluer si leurs sites sont à risque de contamination par *Cryptosporidium.* Pour les sites considérés comme "à risque", deux situations sont clairement séparées :

- la situation dans laquelle les traitements de l'eau comportent un système de filtration en continu capable d'éliminer toutes particules < 1 micron : dans ce cas, la surveillance demandée est de s'assurer que les systèmes de filtration sont fonctionnels par une vérification régulière de l'intégrité des membranes de filtration.
- pour les autres sites dans lesquels les traitements conventionnels sont appliqués (coagulation, sédimentation, filtration "classique") il est demandé aux industriels de mettre en place une surveillance en continu de la contamination par *Cryptosporidium*.

Dans tous les cas un suivi de la turbidité, complémentaire du suivi de la contamination par *Cryptosporidium* sp, est demandé.

En dehors de la communauté européenne d'autres pays ont agi face au risque de cryptosporidiose. Ainsi, l'Australie a établi des recommandations pour *Cryptosporidium*. Les mesures de prévention établies mettent l'accent sur :

- la protection des ressources qui est considérée comme prioritaire,
- la mise en place d'un système de traitement (filtration) efficace sur *Cryptosporidium*,
- la détection de *Cryptosporidium* sp. dans certaines situations à risque (forte pluie, erreur dans le circuit de distribution,…)

Les USA ont quant à eux établi des objectifs de résultats et une obligation de moyen. Ainsi, un objectif d'absence de microorganismes est fixé. De plus une concentration maximale admissible est imposée pour les coliformes et la flore totale. De plus une exigence d'élimination de 99% des *Cryptosporidium* s'applique depuis le 14 janvier 2002. Enfin, toute une série de recommandations sont mises en place pour maîtriser le risque de cryptosporidiose. Les comités locaux décident du caractère acceptable ou non de l'eau et sont en charges de l'information des personnes immunodéprimées [14].

2.2 Dispositifs réglementaires applicables aux traitements individuels et collectifs

2.2.1 Législation française

A) <u>CSP art. R 1321-1 à R 1321-66</u>

La directive 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative aux eaux destinées à la consommation humaine (eau froide, eau chaude sanitaire,….), à l'exclusion des eaux minérales naturelles a été transcrite par décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001. Ce décret a été lui-même transcrit le 27 mai 2003 dans le Code de la Santé Publique. Aussi **l'article R 1321-55 du CSP prend en compte la possibilité d'un traitement individuel de l'eau pour les installations de distribution raccordées au réseau** [112].

Depuis de nombreuses années, des appareils individuels de traitement des eaux destinées à la consommation humaine sont proposés aux consommateurs. La réglementation actuelle ne prévoit pas que ces dispositifs fassent l'objet d'une procédure d'agrément. Cependant :

- les matériaux en contact de l'eau doivent être conformes aux dispositions de l'arrêté du 29 mai 1997 modifié relatif aux matériaux et objets utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine,
- le dispositif de traitement complémentaire doit « utiliser des produits et procédés de traitements bénéficiant d'une autorisation du ministre chargé de la santé, prise après avis de l'Afssa. »(art. R 1321-55 du CSP)
- « les appareillages installés entre le robinet et le réseau public de distribution doivent être conçus, réalisés et entretenus de manière à empêcher l'introduction ou l'accumulation de microorganismes, de parasites ou de substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ou susceptibles d'être à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine distribuée, telle qu'il ne soit plus satisfait aux exigences fixées aux art. R 1321-2 et R 1321-3. » (art. R 1321-49 du CSP).
- « les réseaux intérieurs mentionnés en 3° de l'article 1321-43 ne doivent pas pouvoir, du fait des conditions de leur utilisation, et notamment à l'occasion de phénomènes de retour d'eau perturber le fonctionnement du réseau auquel ils sont raccordés ou engendrer une contamination de l'eau distribuée dans les installations privées de distribution. » (art. R 1321-54 du CSP).
- « les dispositifs de protection et de traitement mentionnés aux articles R 1321-54 à R 1321-56 équipant les installations collectives de distribution doivent être vérifiés et entretenus au moins tous les 6 mois. Un arrêté des ministres chargés de la santé et de la construction, pris après avis de l'Afssa, définit les modalités de cette vérification et de cet entretien. » (art. R 1321-59 du CSP)

B) Garantie d'innocuité

La réglementation sur la sécurité générale des produits s'applique à ce type d'appareil. Dans l'attente de la mise en place d'une réglementation particulière concernant ces appareils de traitement, la DGS incite toutefois, dans le cadre de la circulaire du 21 juin 1999, les producteurs à faire vérifier l'innocuité des appareils de traitement de l'eau qu'ils mettent sur le marché par un des 4 laboratoires français agréés.

La preuve des essais effectués par un de ces 4 laboratoires sur l'innocuité de l'appareil (conformément à la circulaire DG. VS n°99-360 du 21 juin 1999, protocole d'essai de mesure de l'innocuité) est un gage de sérieux. Le ministère et ses directions départementales (DDASS) n'ont réalisé aucun essai et ne reconnaissent aucune certification qui garantisse l'efficacité des appareils.

La DGS incite également les producteurs à n'utiliser que des produits agréés et des procédés de traitement approuvés pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine conformément à l'article L 21 du code la santé publique (circulaires des 7 mai 1990 et 27 mai 1992).

De plus dans les lieux où de l'eau est fournie au public, les procédés de traitement au point d'utilisation, notamment ceux mis en œuvre au niveau de certaines fontaines réfrigérantes, doivent faire l'objet d'une approbation de la DGS ; à cette fin, un dossier de demande d'approbation conforme aux indications fournies dans la circulaire du 12 novembre 1985 doit être déposé au bureau de l'eau pour examen par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) [37].

Les différentes dispositions de sécurité sanitaires évoquées précédemment visent l'innocuité des traitement collectifs et individuels mais pas leur efficacité de rétention, de destruction ou d'inactivation vis-à-vis des microorganismes présents dans l'eau, tel que *Cryptosporidium*. Toutefois dans la mesure où on considère l'innocuité d'un appareil comme une absence de risque sanitaire, on peut dire que l'appareil, dans des conditions d'utilisations normales, ne devrait pas engendrer des risques comme le développement de bactéries ou le relargage d'oocystes dans l'eau par exemple.

2.2.2 Réglementation européenne et normalisation internationale

A) Réglementation européenne

Les dispositions sanitaires européennes relatives aux produits et procédés de traitement, ne concernent pas l'efficacité des traitements notamment vis-à-vis de *Cryptosporidium* mais l'innocuité des matériaux utilisés. Cette notion d'innocuité des matériaux est abordée par le WG 3 du TC 164 du CEN. En effet, ce groupe travaille à la conception d'une norme d'harmonisation d'acceptation des matériaux entrant au contact de l'eau destinée à la consommation humaine (EAS).

B) Normalisation internationale

A l'heure actuelle, au niveau internationale, il existe 6 normes ANSI/NSF en matière de santé pour les dispositifs de traitement :

- **ANSI/NSF standard 42 :** Dispositifs de traitements de l'eau potable. Effets organoleptiques,
- **ANSI/NSF standard 44 :** Adoucisseurs d'eau à échange cationique,
- **ANSI/NSF standard 53** : Dispositifs de traitements de l'eau potable -Effets sur la santé,
- **ANSI/NSF standard 55** : Système de traitement microbiologique de l'eau par les U.V.,
- **ANSI/NSF standard 58 :** Systèmes de traitement de l'eau par osmose inverse,
- **ANSI/NSF standard 62** : Systèmes de distillation de l'eau potable.

Il est à noter que les appareils certifié ANSI/NSF 53 permettent la réduction des kystes parasitiques. Ainsi, l'appareil certifié ANSI/NSF 53 doit permettre une réduction d'au moins 99,95% du nombre d'oocystes vivants, d'une solution chargée à 50.10^4 oocystes/L (annexe 7).

De plus on notera que l'OMS a publié en 2002 un rapport relatif aux traitements complémentaires de l'eau à domicile et à leurs bénéfices sur la santé [127]. Celui-ci décrit les différents appareils disponibles et leur efficacité vis-à-vis de *Cryptosporidium*.

2.2.3 Marquage des appareils de traitements individuels et collectifs

Actuellement, il existe 3 certifications dont 2 françaises qui garantissent que les essais ont été effectués par des organismes indépendants pour vérifier l'efficacité de l'appareil :

- La marque NF 179 délivrée par l'Agence française de Normalisation (AFNOR) en liaison avec le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) pour les adoucisseurs.
- La marque CSTBat délivrée par le CSTB pour les divers appareils de traitement de l'eau de boisson.
- La marque NSF américaine délivrée par l'American National Standards Institute pour les divers appareils de traitement de l'eau de boisson.

Depuis avril 2000, le CSTB français et NSF américain ont signé un accord qui valide un référentiel technique commun pour délivrer les certifications. Ainsi, un appareil ayant le marque NSF bénéficiera de la marque CSTBat et vice et versa. 4 certifications différentes sont proposées : NSF 42, NSF 44, NSF 53 et NSF 58.

Pour obtenir une de ces certifications, les entreprises doivent à leur initiative postuler auprès de l'AFNOR, du CSTB ou de NSF. Ces derniers effectuent une évaluation

technique stricte afin de déterminer si l'appareil mérite la certification. Ces certifications sont un gage d'efficacité de l'appareil sous réserve qu'il soit bien entretenu. Ceci dit en janvier 2003, aucun adoucisseur ne bénéficiait de la marque NF 179 et aucun appareil de la marque CSTBat. Seuls certains appareils disposent d'une des certifications NSF.

En conclusion, mis à part la norme NSF 53, aucune de ces certifications ne permet de s'assurer de l'efficacité de l'appareil vis-à-vis de *Cryptosporidium.*

2.3 Réglementation sanitaire relative aux générateurs d'eau chaude sanitaire et à leurs traitements

2.3.1 Réglementation française

La réglementation porte essentiellement sur le réglage de la température, sur le temps d'attente et sur la fourniture continue d'eau chaude mais ne concerne pas la contamination de l'eau chaude par des parasites. En effet, il n'existe pas de réglementation particulière vis-à-vis de *Cryptosporidium.*

En ce qui concerne la qualité sanitaire de l'eau chaude la réglementation est la même que celle de l'eau froide. En effet l'eau chaude sanitaire est considérée en France comme une eaux destinée à la consommation humaine. Ainsi, le dispositif réglementaire applicable pour les appareils de traitements de l'eau chaude sanitaires vis-à-vis de *Cryptosporidium,* est le même que celui pour l'eau froide décrit au paragraphe 2.1.1.

A) <u>Qualité de l'eau</u>

a) Hygiène et qualité sanitaire

En matière d'hygiène le texte de référence est le **règlement sanitaire départemental type**, complété le cas échéant par l'autorité départementale. La qualité sanitaire de l'ECS doit faire l'objet d'une surveillance régulière et les installations doivent faire l'objet d'un **contrôle technique** préalablement à leur utilisation. Ce contrôle technique permet de vérifier le mode d'alimentation et de vidange de tous les appareils raccordés, complété par un contrôle analytique de l'eau après désinfection des réseaux intérieurs. Les DDASS désignent l'organisme compétent [16].

B) <u>Réglementation relative aux traitements des eaux chaudes sanitaires</u>

Pour le traitement des eaux chaudes sanitaires dans les réseaux intérieurs d'immeubles, des recommandations de traitement figurent dans le guide du Conseil supérieur d'hygiène publique de France relatif à la gestion du risque lié aux légionelles de novembre 2001 et dans la circulaire du 22 avril 2002 (DGS/SD7A/SD5C-DHOS/E4 n° 2002/243) relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé [112].

Les traitements anti-corrosions (sur l'eau ou sur l'installation) et anti-tartre ne doivent pas altérer les qualités de l'eau qui doit restée potable. Le DTU, additif n°4, précise les conditions pour lesquelles l'eau peut faire l'objet d'un traitement [16].

En outre les dispositifs de traitement, tel que les adoucisseurs ou les appareils anti-tarte doivent répondre aux mêmes exigences réglementaires, décrites précédemment, que celles utilisées pour l'eau froide.

2.3.2 Règlementation étrangère

Il n'existe pas, actuellement, de dispositifs réglementaire européen ou international concernant *Cryptosporidium* dans les ECS et les générateurs d'eau chaude. Seule la notion de l'innocuité des matériaux utilisés pour procédés de traitements de l'ECS comme l'adoucissement ou les équipements anti-tartre est abordée par la commission européenne au sein du groupe WG 3 du TC 164.

3 TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES ET GENERATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE

3.1 Les traitements complémentaires individuels et collectifs

Par traitement complémentaire de l'eau, on entend les modifications techniques apportées aux circuits intérieurs des immeubles ou maisons, destinées selon le cas, à changer de manière significative la qualité de l'eau ou à modifier ses propriétés de manière à favoriser ou éliminer certains phénomènes. Ces traitements complémentaires sont dits individuels lorsqu'ils concerne l'habitat individuel ou collectifs s'ils sont utilisés en habitat collectif (ERP, les immeubles,…).

Les principales raisons pour lesquelles de plus en plus de consommateurs prennent aujourd'hui l'initiative de traiter l'eau de distribution sont les suivantes:

- des phénomènes de dysfonctionnement de leur installation causés par des problèmes d'incrustation ou de corrosion,
- un mécontentement relatif aux goût et odeur de l'eau,
- l'incertitude en ce qui concerne la qualité bactériologique de l'eau.

De ce fait le consommateur d'eau se sent plus que jamais inquiet, voire menacé dans un de ses besoins essentiels. Dans ce climat d'anxiété le marché des appareils de traitement domestique de l'eau connaît une pleine expansion en France. Afin de pouvoir situer et évaluer l'ampleur du problème soulevé dans ce mémoire, il importe de connaître non seulement l'ampleur du marché de ces appareils mais également la gamme d'appareils disponibles sur le marché et leurs caractéristiques techniques [62].

3.1.1 Etat du marché

Les seuls résultats statistiques du marché des traitements de l'eau en France dont nous disposons pour le moment sont ceux fournis par l'UAE. Les données ont été recueillies auprès de 67 entreprises, traiteurs d'eau et constructeurs. Les résultats suivants sont consacrés exclusivement aux équipement installés en France dans l'habitat unifamiliale entre 1995 et 1997 [123].

En 1995, 40 000 adoucisseurs ont été vendus en France, 45 000 en 1996 et 52 000 en 1997. Ce marché est en forte expansion : +12% en 1996 et +15% en 1997. Les chiffres communiqués pour le premier semestre 98 indiquaient une tendance de 25 à 28 % de progression. En 1990 un rapport du service santé environnement et de l'observatoire population habitat de la ville du Havre montrait que sur 1022 havrais interrogés au printemps 1990, 8% disposaient déjà d'un adoucisseur d'eau [115].

Pour les osmoseurs on constate que 7000 ont été installé en 1995, 8 500 en 1996 et 11 000 en 1997. Le développement de ce marché est donc d'environ 21% en 96 et 29% en 1997. Les chiffres communiqués pour le premier semestre 1998 indiquaient une tendance de +27 à 30 % de progression.

Enfin, 51 000 filtres à eau ont été vendus en 1995, 60 000 en 1996 et 80 000 en 1997. On observe donc un développement de ce marché d'environ 17% en 1996 et 33% en 1997. Les chiffres communiqués pour le premier semestre 1998 indiquaient une tendance autour de 26 % de progression.

D'après l'UAE, l'activité de ces équipements représentait en 1997 un chiffre d'affaires de 2,4 milliards de francs dont 1,8 réalisés chez l'usager. Elle employait 3000 personnes dont 600 chez les constructeurs et 2400 chez les traiteurs d'eau au service direct des consommateurs. Parmi elles, 800 collaborateurs étaient des techniciens dont 650 au service du public. Ainsi nous pouvons conclure que les appareils de traitements de l'eau connaissent un véritable essor.

3.1.2 La classification

La classification des appareils de traitements varie énormément selon le pays, le fabricant, etc… Aussi, dans cette partie seront exposées les principales possibilités de classification des appareils.

Une possibilité de classement est celle réalisée en fonction de l'installation de l'appareil. En effet selon l'endroit où se réalise le traitement, on peut distinguer deux types d'appareils :

- les appareillages de traitement à la prise d'eau dit **POE** (point-of-entry). Dans ce système, les substances indésirables visées (de manière sélective, selon le type d'appareil choisi) sont éliminées ou réduites dans l'eau qui traverse l'appareil. Celui-ci est installé directement sur la conduite principale placée à l'intérieur de l'immeuble, avec ou sans by-pass*.
- les appareillages de traitement au point de consommation dit **POU** (point-of-use). Ces appareils sont conçus pour être installés sur certains des robinets de l'installation afin d'y enlever partiellement ou totalement et de façon sélective, les substances indésirables [62]. Pour ces derniers appareils, différents types de raccordement sont disponibles sur le marché:
  - directement ou indirectement au robinet,
  - sur la tuyauterie, juste avant le robinet (sous l'évier),
  - sur un branchement à robinet séparé,
  - les appareils indépendants ou mobiles (type carafe).

Cette classification permet de connaître le point de branchement de l'appareil ce qui présente l'avantage d'une installation aisée.

Une autre voie de classification est celle réalisé en fonction de l'objectif du traitement recherché. Cette classification est notamment utilisée aux USA et au Canada. Ainsi les dispositifs de traitement de l'eau peuvent être répartis en deux groupes, selon leur fonction :

- ceux qui améliorent le goût, l'odeur et l'apparence de l'eau ou qui en éliminent les substances chimiques et les minéraux indésirables,
- ceux qui désinfectent l'eau.

Cette classification présente l'avantage d'être plus accessible que la précédente pour l'utilisateur. Toutefois elle reste assez générale et ne tient pas compte du type d'eau traitée par rapport à l'appareil utilisé.

Une troisième possibilité proposée par l'UAE est de classer les appareils en fonction des procédés utilisé : adoucissement par résines échangeuse d'ion, traitements UV, adsorption sur charbon actif… Ce classement par procédé ne tient pas compte du type d'eau traitée: eau de loisir (piscines), eau de boisson ou eau chaude sanitaire. En outre il semble peu accessible pour l'utilisateur qui est souvent néophyte dans ce domaine.

3.2 Les différents procédés de traitements complémentaires

3.2.1 Procédé de filtration

A) <u>Les filtres mécaniques</u>

a) Fonction

Cette dénomination de filtres mécaniques englobe tous les appareils capables d'éliminer les matières en suspensions dans l'eau, quelle que soit leur nature, au moyen de barrières purement physiques.

b) Principe

Ces filtres fonctionnent suivant un principe très simple : ils retiennent les particules en fonction de leur taille sur une membrane [62]. Ils sont cotés relativement au diamètre des pores de la membrane, qui est mesuré en micromètres – plus le chiffre est petit (donc plus les pores sont petits), plus le filtre est efficace.

c) Types de filtres

On distingue trois principaux types de filtres mécaniques :

Les filtres à bobines

Les bobines filtrantes sont généralement réalisées par un tissage de fibres synthétiques [62]. Les filtres à fibres sont faits de cellulose, de rayonne ou d'autres fibres. Leurs pores sont relativement grands, généralement de 5 à 25 µm, de sorte que ces filtres empêchent les grosses particules de traverser leur tissage serré, mais laissent passer les contaminants dissous.

Les filtres en matériaux poreux :

Ce sont généralement des filtres en céramique ou en fibres de verre [62]. Ils retiennent certains parasites et bactéries ainsi que d'autres particules dans leurs pores de céramique généralement <1 µm. Ils ne sont toutefois pas en mesure de retenir les contaminants chimiques dissous.

Les filtres à membranes :

Il s'agit ici généralement de membranes en matière plastique avec des diamètres de pores variant de 1 à 0,1µm. Dans la plupart des cas, ils sont montés et pliés dans les cartouches filtrantes [62].

d) Installation

Les filtres mécaniques peuvent être divisés en deux grands groupes : les dispositifs de point d'utilisation et les dispositifs de point d'entrée.

Les dispositifs de point d'utilisation sont habituellement de petits filtres conçus pour traiter l'eau destinée à la consommation. On trouve donc 3 types de filtres:

- les appareils sous éviers avec l'installation d'un robinet supplémentaire,
- les appareils à brancher sur un robinet déjà existant,
- les carafes filtrantes [84].

Les filtres de point d'entrée sont posés sur la conduite principale d'alimentation en eau et filtrent toute l'eau qui entre dans la maison. Ils fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres de point d'utilisation, mais ils ont une capacité supérieure pour pouvoir traiter une plus grande quantité d'eau.

e) Entretien

D'après l'article R 1321-59 du CSP « les dispositifs de protection et de traitement équipant les installations collectives de distribution doivent être vérifiés et entretenus au moins tous les 6 mois. Un arrêté des ministres chargés de la santé et de la construction, pris après avis de l'Afssa, non publié à ce jour, devra définir les modalités de cette vérification et de cet entretien. » (art. R 1321-59 du CSP). Aucune recommandation d'entretien n'est précisée dans la réglementation pour les traitements individuels.

Dans l'attente de recommandations réglementaires prises par arrêté on notera que les industriels de l'affinage de l'eau émettent un certain nombre de recommandations d'entretien.

Dans les filtres mécaniques, il peut y avoir après un certain laps de temps, une croissance bactérienne, qui peut mener à un perçage instantané de bactéries [62]. C'est pour cette raison qu'il est recommandé de changer régulièrement les cartouches.

Lorsque la cartouche d'un filtre doit être changée, il faut prendre garde de ne pas contaminer l'eau. En outre, si la cartouche du filtre est insérée dans un boîtier ou un petit réservoir, il est recommandé le désinfecter avec une solution très diluée contenant de l'eau de Javel.

Points clés : La taille des pores des filtres mécaniques varie entre moins de 1µm et 25µm, selon le type de filtre. Ces filtres sont sujets à contamination bactérienne qui peut mener à un perçage instantané de bactéries.

B) Filtres au charbon actif

a) Fonction

La filtration au charbon actif permet d'éliminer par adsorption la majeure partie des composés organiques apolaires ou peu polaires. Le charbon actif assure également la réduction des oxydants comme le chlore ou l'ozone. Il permet en outre de retenir certains métaux lourds. La filtration au charbon actif permet d'améliorer les caractéristiques organoleptiques d'une eau telles que le goût, l'odeur ou la couleur.

b) Principe de l'adsorption

L'adsorption est une étape d'affinage. C'est un phénomène de surface qui va consister à fixer à la surface d'un matériau, appelé adsorbant, une substance liquide, appelée adsorbat, de façon plus ou moins réversible.

Son mécanisme repose sur des phénomènes d'interactions physiques et chimiques utilisant des forces électrostatiques entre les molécules de type Van Der Waals (physisorption) ou des liaisons chimiques covalentes (chimisorption). Si la molécule se lie fortement alors l'adsorption sera forte. En effet les charbons actifs possèdent à leur surface des fonctions chimiques ayant des capacités de réaction avec d'autres molécules. Les matières qui peuvent être utilisées pour la composition du charbon actif sont diverses : tourbe, charbon de bois, fibres naturelles ou synthétiques, noix de coco ou houille. L'adsorption va dépendre de plusieurs facteurs :

- la surface spécifique du matériau qui varie avec l'état physico-chimique du milieu,
- la structure poreuse,
- la nature des liaisons crées entre l'adsorbat et l'adsorbant,
- le temps de contact entre le charbon et la molécule.

c) Types de filtres à charbon actif

On trouve dans le commerce des filtres sous formes de cartouche fermée qui contiennent du charbon actif en poudre ou en grain [15].

Les filtres au charbon actif en poudre

Ils utilisent une cartouche remplie de poudre de charbon actif. Le charbon actif en poudre présente une granulométrie de 10 à 50 µm.

Les filtres au charbon actif en grains

Ils utilisent une cartouche remplie de granules de charbon actif. Quand l'eau passe à travers le filtre, les nombreuses granules de charbon adsorbent les particules et retiennent les substances dissoutes dans l'eau (telles que le chlore, les métaux lourds et les composés organiques). Les micropores, représentant jusqu'à 95% de la surface totale du charbon, sont les lieux d'adsorption. La taille des bactéries ne leur permet pas de pénétrer à l'intérieur du charbon. En un ou deux mois, elles se développent en surface et forment un biofilm (biomasse colonisatrice).

Certains filtres à charbon actif sont mordancés à l'argent. Ils sont identiques aux autres dans leur conception et leurs effets. La différence réside dans un traitement du charbon actif par un sel d'argent qui lui confère un pouvoir bactériostatique, limitant ainsi les risques de proliférations bactériennes indésirables [9].

Les filtres à charbon actif peuvent être également entourés ou non d'un filtre, généralement en polypropylène de seuil de coupure de 0,45 µm le plus fréquemment.

La rétention par filtration sur charbon actif varie de 5 µm à 20 µm en général. Cette variation provient du type de charbon utilisé (en poudre ou granules et du matériau filtrant entourant le charbon) [3,4]. Certain procédé de fabrication sont exclusifs. Ainsi la société Plymouth products fabrique du charbon en poudre liée par de la polyoléfine et se présente sous forme de bloc. Son seuil de rétention de 0,5 µm lui permet d'être efficace contre le passage de pathogènes tel que *Cryptosporidium* [3].

Certaines cartouches, dites mixtes, contiennent en plus du charbon actif d'autres agents chimiques tels que des cristaux de polyphosphates par exemple qui maintiennent le calcaire en solution, empêchant sa déposition. Certaines cartouches mixtes combinent également couche de sédiments et couche de charbon actif.

Les filtres à charbon actif sont rarement utilisés seuls ils sont généralement montés en série avec, en amont du filtre à charbon actif des modules de filtres mécaniques et/ou des filtres à résines échangeuses d'ions pour la dénitratation. Certains systèmes présentent même des modules à lampes UV placées après les filtres à charbon actif.

d) Installation

Principalement installés au point d'utilisation les filtres à charbon actif peuvent également être placés au point d'entrée.

On installe généralement les filtres au charbon actif en ligne sous l'évier de cuisine, sur la canalisation d'alimentation en eau froide. Des filtres au charbon actif posés en dérivation servent aussi à filtrer l'eau froide, mais ils sont raccordés à un robinet distinct sur l'évier. Des carafes filtrantes composées de cartouche à charbon actif sont également disponibles sur le marché.

e) Entretien

Comme les filtres mécaniques, les filtres à charbon actif sont soumis à l'article 1321-59 du CSP en habitat collectif. Aucune recommandation d'entretien n'est précisée dans la réglementation pour les traitements individuels.

Dans l'attente de recommandations réglementaires les industriels de l'affinage de l'eau émettent un certain nombre de recommandations d'entretien :

- Les filtres à charbon actif, (même les filtres qui contiennent des matières bactériostatiques), peuvent finir par retenir des bactéries et leur permettre de proliférer. Ceci peut mener à un relargage de bactéries. C'est pour cette raison qu'il est recommander de changer régulièrement les cartouches.
- Lorsque la cartouche d'un filtre doit être changée, il faut prendre garde à ne pas contaminer l'eau. En outre, si la cartouche du filtre est insérée dans un boîtier ou un petit réservoir, il faut le désinfecter avec une solution très diluée contenant de l'eau de Javel.

<u>Points clés</u> : La rétention des filtres à charbon actif varie entre 5 et 20µm en moyenne mais certains procédés particuliers peuvent présenter des seuil de rétention de 0,5 µm. Les filtres à charbon actif peuvent être mordancé à l'argent pour éviter la prolifération bactérienne. Ils peuvent être entourés de filtres de 0,45 µm de seuil de coupure. Les filtres à charbon actif sont sujets à contamination bactérienne qui peut mener à un relargage de bactéries.

C) L'osmose inverse :

a) Fonction

L'osmose inverse permet d'obtenir une eau ultra-pure : stérile, non pyogène et déminéralisée.

b) Principe

Les appareils à osmose fonctionnent selon le principe de l'osmose inverse. Le principe est de créer, sur une membrane semi-perméable (diamètres de pores < 1 nm)., une force opposée à la pression osmotique* naturelle qui tend à donner la même composition à l'eau de part et d'autre de la membrane, de telle sorte que les ions soient concentrés dans le compartiment sous pression [15].

La réalisation pratique des osmoseurs consiste généralement à faire passer l'eau à travers une couche de membranes sous formes tubulaire, enroulées et disposées dans une cartouche. L'eau minéralisée arrive par les parois, est mise sous pression et se rassemble dans la partie centrale. Pour limiter le colmatage des membranes, une élimination préalable des matières en suspension et colloïdales est nécessaire [15]. C'est pourquoi il est souvent associé à des pré-filtres mécaniques et à un filtre à charbon actif [111].

Les bactéries sont arrêtées par ce procédé, mais les membranes constituent un lieu privilégié de prolifération. Une chloration préalable de l'eau peut être envisagée par sécurité [15].

c) Installation

Cet appareil peut se brancher sous ou sur l'évier. Il est destiné à traiter l'eau et nécessite l'installation d'un «3ème robinet ». De nombreux appareils d'osmose inverse sont conçus pour être placés sur le comptoir de la cuisine. Les gros appareils sont généralement installés sous le comptoir ou dans le sous-sol. L'appareil doit être raccordé à l'arrivée d'eau et au tuyau d'évacuation. Les plus gros appareils peuvent nécessiter l'intervention d'un professionnel, surtout lorsqu'une canalisation spéciale d'alimentation en eau doit être branchée à la conduite principale d'eau de la maison. Il est à noter qu'il existe également des appareils à membranes d'osmose inverse sous forme de carafes mobiles.

d) Entretien

Comme les filtres mécaniques et les filtres à charbon actifs, les osmoseurs collectifs sont soumis à l'article 1321-59 du CSP. Aucune recommandation d'entretien n'est précisée dans la réglementation pour les traitements individuels.

Dans l'attente de recommandations réglementaires les industriels de l'affinage de l'eau émettent les recommandations d'entretien suivantes:

- Les appareils d'osmose inverse doivent être entretenus régulièrement. Habituellement, le préfiltre à sédiments et les préfiltres au charbon actif doivent être changés au moins une fois par an. Cela dit, ces préfiltres pourraient nécessiter un remplacement aussi fréquent que tous les six mois si l'eau qui passe dans l'appareil renferme du sable, de grandes quantités de chlore ou d'autres substances qui nuisent au bon fonctionnement des filtres.
- Bien que dans des conditions d'utilisations et d'entretiens normales les membranes puissent durer en moyenne 2 à 5 ans, il est souhaitable de la changer tous les 2 ans. De plus chaque année une désinfection de l'appareil est conseillée. Une purge du réservoir est également recommandée chaque année.

Points clés : les osmoseurs sont sujet à prolifération bactérienne. Les pores des membranes sont < 1nm.

3.2.2 Les résines échangeuses d'ions

A) L'adoucissement de l'eau

a) Fonction

L'adoucisseur est un appareil qui élimine le calcium et le magnésium, principaux responsables avec le TAC de l'entartrage des canalisations et des appareils ménagers.

b) Principe

Les adoucisseurs contiennent des résines échangeuses d'ions de type cationique. Tous les ions responsables de la dureté de l'eau (principalement les ions calcium et magnésium) sont remplacés par des ions sodium. Etant donné que cette technique a depuis longtemps prouvé son efficacité, elle représente une très grande partie du marché correspondant [62].

L'adoucissement

L'adoucissement est utilisé pour éliminer des ions indésirables d'une solution sans changer la concentration ionique totale ou le pH. Le processus d'adoucissement de l'eau repose sur l'échange d'ions par résines. Pour l'adoucissement de l'eau se seront les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) qui seront remplacés par les ions sodium (Na^{+}) [15].

$$2\ R^{-}Na + Ca^{2+}(HCO_3\text{-})_2\ ?\ (R_2)^{-}Ca + 2\ Na^{+}\ HCO_3^{-}$$

Pour réaliser l'échange d'ions, on fait passer l'eau de la maison à travers un lit de résine constitué de billes. Les billes sont couvertes d'ions sodium ou potassium. À mesure que l'eau passe à travers le lit de billes les ions Na^{+} sont échangés avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+}. Un volume de résine donné peut fixer une quantité limitée d'ions. Lorsque ce seuil est atteint l'eau qui entre dans l'adoucisseur ressort sans que ces caractéristiques n'aient évoluées. On dit que le lit de résine est percé. Il faut alors régénérer la résine.
Pour régénérer la résine on utilise une solution de chlorure de sodium (la saumure) pour permettre la réaction suivante : $(R_2)^{-}Ca + 2\ Na^{+}\ HCO_3^{-}$? $2\ R^{-}Na + Ca^{2+}(HCO_3^{-})_2$

Après la régénération on désinfecte la résine. En effet, d'après la circulaire du 27 mai 1987 «une eau brute ayant subi un traitement par résine échangeuse de cations doit obligatoirement subir une désinfection».

c) Les différents types d'adoucisseurs d'eau

Les modèles d'adoucisseurs diffèrent de part leur mode de fonctionnement. Ils peuvent fonctionner de manière manuelle, semi-automatique (fonctions automatisées sauf régénération), automatique ou périphérique (le module d'adoucissement portatif est remplacé par une entreprise).

L'adoucisseur automatique peut être commandé par différents dispositifs : minuterie, compteur d'eau ou capteur de dureté.

d) Installation

D'après la circulaire du 27 mai 1987, «*dans les immeubles collectifs d'habitation , quelque soit d'ailleurs le mode de traitement mis en œuvre-résines échangeuses de cations, réactifs de type silicate et polyphosphates, procédés électrolytiques à anode soluble, le dispositif doit être placés sur le réseau de canalisation alimentant les appareils de production d'eau chaude. En effet, il est rappelé que dans chaque logement doit être aménagé un point de puisage mettant à disposition des usagers l'eau de la distribution publique, sans traitement complémentaire* ».

En habitat individuel l'adoucisseur s'installe au point d'entrée, idéalement où la canalisation d'eau principale entre dans la maison. L'adoucissement de l'eau ne doit concerner que le réseau d'eau chaude sanitaire pour éviter de boire l'eau adoucie.

D'après la circulaire du 27 mai 1987 « la mise en place des installations d'adoucissement doit être réalisée dans des conditions d'hygiène irréprochables. Ainsi il est conseillé de réserver un local spécifique à cet usage qui doit être régulièrement entretenu. Les produits de traitements de régénération doivent être placés à l'abri de toute contamination. Les installations doivent comporter un clapet anti-retour sur la canalisation d'alimentation ainsi que sur tout bipasse et un dispositif de rupture de charge par mise à l'air libre sur la canalisation d'évacuation des eaux de régénération ».

e) Entretien

La granulométrie des résines leur fait parfois jouer le rôle de filtre qui bloque les matières organiques et minérales en suspension, et si les conditions de température et de pH sont réunies elles sont le siège de développements bactériens. C'est pourquoi il est nécessaire de régénérer et de désinfecter les résines régulièrement [62].

D'après la circulaire du 27 mai 1987 « un entretien efficace et régulier doit être assuré par un personnel qualifié sinon des risques de dégradation de la qualité de l'eau sont prévisibles. De plus en cas d'arrêt prolongé de plus de 48 heures une régénération et une désinfection doivent être effectuées».

Points clés : La granulométrie des résines leur fait parfois jouer le rôle de filtre qui bloque les matières organiques et minérales en suspension. Les résines échangeuses d'ions peuvent être contaminées par des bactéries. Toute l'eau froide n'est pas adoucie. Des clapets anti-retour doivent être installés. La régénération des résines est réalisée grâce à de la saumure.

B) Les résines échangeuses d'anions

a) Fonction

Les résines échangeuses d'anions sont utilisées pour éliminer les anions de l'eau, principalement les nitrates et les sulfates.

b) Principe

Les résines échangeuses d'anions ne sont autorisées en France que depuis 1985, et seuls les produits des sociétés Rohm & Haas, Purolite, Dowex Chemical ont été admis. Le procédé est valable pour tous les anions, mais les résines ont des affinités différentes selon les anions, et les sulfates sont plus facilement éliminés que les nitrates [15].

Le traitement consiste en un passage de l'eau dans une colonne remplie de résine. Les anions nitrates ne sont pas les seuls retenus [15]. Il existe même une sélectivité différente suivant l'espèce anionique. Des plus retenus aux moins retenus, l'ordre généralement cité est : $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > HCO_3^- > OH^-$
Les ions nitrates, sulfates … se fixent sur la résine qui libère dans l'eau traitée des ions X^- en quantité équivalente.
$R^+X + (NO_3^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-)$? $R - [NO_3, SO_4, HCO_3] + X^-$

Lorsque tous les ions X^- ont été remplacés par les ions NO_3^-, SO_4^{2-}…, il faut régénérer la résine par lavage avec une solution acide suivant la réaction inverse de la réaction précédente. Cette opération est délicate. Le constructeur donne en général la marche à suivre et fournit les produits de régénération, souvent du chlorure ou du bicarbonate de sodium de qualité alimentaire [15].

c) Installation

Les appareils d'élimination de nitrates à résine échangeuses d'anions sont généralement des filtres à cartouche contenant la résine échangeuse d'anions. Ils sont placés sous évier, au point d'usage.

d) Entretien

Toute comme les résines cationiques, elles sont sujettes à développement bactérien. Il faut donc les régénérer et les désinfecter régulièrement conformément à la circulaire du 27 mai 1985.

Points clés : La granulométrie des résines leur fait parfois jouer le rôle de filtre ce qui peut conduire à une contamination bactérienne des résines. Des clapets anti-retour doivent être installés. La régénération des résines est généralement réalisée grâce à de la saumure.

3.2.3 Anti-tartre électromagnétique et traitements par inhibiteurs chimiques

A) Les anti-tartres à action physique

a) Fonction

Qu'ils soient magnétiques, électromagnétiques ou électriques les appareils anti-tartres ont le même objectif: abaisser le pouvoir entartrant de l'eau. Ils n'ont pas pour but d'éliminer le calcaire, mais de l'empêcher de se déposer et de s'incruster sur les parois des canalisations et des équipements ménagers [8].

b) Utilités

Contrairement aux adoucisseurs, cet appareil ne modifie pas la composition chimique de l'eau. Aucun risque de prolifération bactérienne, il n'y a pas d'augmentation du taux de sodium ni de rejets dans les égouts. Enlever à l'eau sa faculté d'entartrage sans ajout de produit chimique, et sans contrainte de maintenance constitue une raison majeure pour que les appareils anti-tartre présentent un attrait à priori important. Néanmoins leur efficacité n'a jamais pu être démontrée avec certitude.

Points clés : Il n'engendre aucun risque de prolifération bactérienne. Ils inhibent l'entartrage des canalisations. Leur efficacité est controversée.

B) Traitement par inhibiteurs chimiques

Les doseurs de réactifs injectent dans l'eau, proportionnellement à son débit, différents produits qui toutefois doivent être autorisés par la législation [62]. Ce dosage peut être obtenu :

- par passage de l'eau à traiter sur des cristaux contenus dans une cartouche pour les usages domestiques [52].
- par injection dans la canalisation, au moyen d'une pompe doseuse, d'une solution stockée dans un réservoir annexe pour les installations collectives.

Les doses utilisées sont d'environ 10 mg/L de silice, et d'environ 5 mg/L de P_2O_5. La plupart des réactifs utilisés sont employés contre l'entartrage et la corrosion [62].

a) Inhibition de l'entartrage

Ce traitement est réalisé par ajout de polyphosphates, le plus souvent sous forme de cristaux à dissolution lente, ou de réactifs silico-phosphatés liquides. Ces produits forment des complexes stables avec les ions calcium et magnésium présents dans l'eau. Ces complexes restent dans l'eau dont le degré ne varie pas, mais ne permettent plus au calcium et au magnésium qu'ils renferment de réagir avec les anions qui provoquent les précipitations génantes.

La séquestration par les polyphosphates alcalins permet, sans modifier la dureté de l'eau, d'effectuer une bonne protection anti-tartre des préparateurs d'eau chaude jusqu'à des duretés assez élevées (selon les procédés, avec un maximum de 35°F). Leurs effets

est cependant réduit quand la température de production est supérieure à 60°C ou quand le temps de rétention dans le circuit est important (hydrolyse) [33].

b) Protection contre la corrosion

Les produits utilisés sont des solutions de phosphates de zinc ou de composés silicatés. Chacun de ces types de réactifs possède une action anti-corrosive anodique et cathodique.

Dans les solutions de phosphates de zinc les ions phosphates forment avec les ions calcium principalement des composés mixtes qui protègent les zones anodiques (dépôt de scholzite*).

Dans les solutions de silicates de sodium les silicates réagissent avec les ions métalliques en formant à l'anode un complexe de silice et d'oxydes métalliques [62].

Points clés : Il n'engendre aucun risque de prolifération bactérienne. Ils inhibent l'entartrage des canalisations. Doses utilisées : ≈ 10 mg/L de silice, ≈ 5 mg/L de P_2O_5.

3.2.4 Procédés de désinfection

A) Traitement UV

a) Fonction

Ces appareils sont recommandés pour une désinfection complémentaire [62]. Ils ont pour fonction d'inactiver par irradiations les micro-organismes de l'eau. Des établissements hospitaliers, des industries agro-alimentaires, qui nécessitent de l'eau stérile sans apport de produits chimiques adoptent ce procédé [15].

b) Principe

Les systèmes à traitement UV transposés au traitement domestique de l'eau proviennent d'un usage industriel premier (industrie alimentaire). L'eau y circule autour d'une lampe UV émettant un rayonnement monochromatique d'une longueur d'onde de 254 nm. Ce rayonnement est fortement absorbé par l'ADN* des cellules vivantes qui sont ainsi inactivées et meurent [62]. Le traitement aux rayons ultraviolets n'altère pas la composition chimique de l'eau puisqu'il n'y ajoute rien (pas d'ajout de produits chimiques), sauf de l'énergie. La dose d'exposition minimale à appliquer, selon la circulaire du 19 janvier 1987, est de 250 J/m^2.

c) Dispositifs de traitement complémentaires

Les rayons UV ne sont efficaces que pour une eau parfaitement limpide, ce qui implique un traitement préalable pour l'élimination des matières en suspension, en particulier les plus fines comme les colloïdes. Ainsi, ce genre de traitement est en général combiné avec une filtration poussée. Par conséquent, un filtre de cinq microns est souvent installé en amont du système de traitement aux rayons UV. Un filtre de un micron peut être placé après le filtre de cinq microns pour retirer les kystes*.

d) Installation

Ils sont également disponibles sous forme d'appareils à monter à la prise d'eau, sous ou sur évier. Un appareil de taille supérieure se branche sur la conduite principale d'eau de la maison, il s'agit d'un appareil au point d'entrée.

e) Entretien

La circulaire du 19 janvier 1987 émet les recommandations d'entretien suivantes qui sont transposables à l'échelle du particulier :

- « les lampes ou générateurs d'ultraviolets doivent être remplacés suivant les indications du constructeur qui doivent prendre en compte le mode d'utilisation du

dispositif. En tout état de cause, les remplacements doivent être réalisés lorsque la dose minimale d'exposition de 250 J/m^2 ne peut plus être atteinte, même après nettoyage de la lampe ou de la gaine de quartz,

- en présence d'eau susceptible de former des dépôts de carbonate de calcium, un nettoyage régulier des lampes ou des parties de quartz au contact de l'eau devrait être assuré,
- la surveillance et l'entretien des installations par un personnel qualifié est indispensable. L'intervention de ce personnel devrait être provoquée en application d'un calendrier d'entretien systématique; toutes les opérations devraient être consignées dans un carnet d'entretien. »

Les industriels de l'affinage de l'eau recommandent également des actions d'entretien. Ils préconisent de remplacer l'ampoule une fois l'an, même si elle fonctionne toujours. Le manchon enveloppant le quartz doit être conservé propre pour que l'appareil fonctionne en toute sécurité. L'appareil doit être soumis à un examen une fois par mois et nettoyé si l'eau apparaît turbide.

Points clés : Le traitement UV permet d'inactiver les microorganismes. La dose d'irradiation dépend de l'organisme cible. La dose minimum à appliquer est de 250 J/m^2.

B) La distillation

a) Fonction

Les distillateurs permettent de produire de l'eau distillée, c'est dire exempte de bactéries et de sels minéraux.

b) principe

Le distillateur porte l'eau du robinet à 100°C, celle-ci passe à l'état de vapeur dans l'évaporateur, puis se condense et se refroidit dans un réfrigérant. L'eau est ensuite dirigée vers un robinet ou stockée dans un réservoir.

c) Installation

Les appareils utilisés le plus couramment dans les maisons reposent sur le comptoir de cuisine. Ils se branchent sur une prise de courant, et sont raccordés à la tuyauterie d'alimentation en eau ou l'eau y est versée manuellement. Les gros modèles (commerciaux ou institutionnels) peuvent être branchés dans une pièce de service et raccordés à la tuyauterie d'alimentation en eau principale.

d) Modèles

Les modèles varient en dimension. Certains appareils sont petits et portables, de la taille d'une bouilloire et reposent sur le comptoir. Les gros modèles sont non portatifs et autonomes, et sont habituellement placés dans un local technique. Le modèle peut être manuel, semi-automatique ou automatique

e) Entretien

Comme les autres dispositifs de traitement, le distillateur est soumis à l'article 1321-59 du CSP. Aucune recommandation d'entretien n'est précisée dans la réglementation pour les traitements individuels.

Bien qu'il n'existe pas de réglementation spécifique pour l'entretien de ces dispositifs, les industriels de l'affinage de l'eau préconisent les recommandations suivantes :

- Les filtres, employés doivent être nettoyés et remplacés périodiquement.
- Il convient de nettoyer la chambre d'ébullition deux fois l'an. Un nettoyage plus fréquent s'impose lorsque l'eau est dure.

- Des quantités excessives de dépôts sur le serpentin de chauffage ou à l'intérieur de la chambre d'ébullition peuvent donner un goût à l'eau. Aussi faut-il vidanger et remplacer l'eau de la chambre d'ébullition de temps à autre afin de réduire l'accumulation de sels minéraux.

Points clés : Le distillateur porte l'eau d'alimentation à ébullition (100°C). Dans un distillateur l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux dans la chambre d'ébullition.

C) Adjonction de produits oxydants

La chloration et l'ozonation permettent la désinfection de l'eau. Ils ont un effet bactéricide, virulicide et oxydent les matières organiques.

Dans le cas de traitement privé le chlore pur en bouteille est peu utilisé. En effet il est dangereux dans la mesure où les émanations de chlore peuvent être mortelles. On trouve par ailleurs des pastilles de chlore qui libèrent chacune la quantité de chlore nécessaire pour 1 L d'eau [15]. Elles sont principalement utilisées lors de voyage ou pour le traitement de piscines privées. Les doses de chlore préconisées pour le traitement domestique de l'eau sont de quelques mg/L.

L'ozone largement utilisé dans les stations de traitement est très peu utilisé pour la désinfection par l'usager, car c'est un produit dangereux, onéreux et devant être préparé sur site au moment de l'emploi [15].

Points clés : Doses de chlore utilisées: quelques mg/L. Des ozoneurs pour le traitement de l'eau au point d'usage existent mais sont peu utilisés [90].

3.3 Les générateurs d'eau chaude sanitaire

3.3.1 Les besoins en eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire (ECS) désigne l'eau chaude utilisée pour la consommation ménagère (douches, baignoires, lavabos …). Elle diffère de l'eau de chauffage circulant en circuit fermé et impropre à la consommation.

La température de l'eau varie généralement selon les usages entre 33 et 40°C (bains, douches) et 55°C (lavage sans détergent), avec une limite fixé réglementaire à 60°C, à l'exception des cuisines ou buanderies des ERP où l'ECS peut être distribuée à 90°C en certains points signalisés (arrêté du 23 juin 1978).

Le volume d'ECS nécessaire a vu sa valeur croître régulièrement, y compris durant la période de crise de l'énergie. Ainsi, entre deux enquêtes effectuées par le CSTB* entre 1979 et 1986, dans les logements collectifs la progression des volumes consommés a été de 27% [16].

Face à ces besoins le concepteur dispose d'un large éventail de solutions :

- Systèmes individuel ou collectif,
- Système instantanée, à accumulation ou intermédiaire,
- Choix de l'énergie et du mode de production simple ou double usage,
- Choix de la température de production et de distribution.

Le choix opéré dans l'une de ces 4 rubriques dépend de ceux des 3 autres, mais aussi et surtout du système de chauffage retenu par ailleurs [16].

3.3.2 Energies utilisées

Tout type d'énergie est susceptible d'être utilisé pour produire de l'ECS. Les énergies les plus utilisées pour la production d'eau chaude sanitaire sont :

- l'électricité pour les chauffe-eau instantanés ou à accumulation,
- le gaz pour les chauffe-eau, chauffe-bains instantanés et chaudières à double service,
- le fioul pour les chaudières au sol à double service,
- l'énergie solaire [4].

3.3.3 Mode de Production

Le mode de production peut être défini selon plusieurs critères :

- le point de production : production centralisée ou individuelle,
- l'usage : simple ou double,
- le temps de production : production instantané ou à accumulation.

A) <u>Production centralisée et individualisée</u>

L'eau chaude sanitaire peut être produite, soit de manière centralisée pour l'usage de plusieurs logements, soit de manière individualisée par logement [7].

a) Production centralisée

En logements collectifs équipés d'une chaufferie centrale, l'eau chaude sanitaire peut être assurée par :

- les chaudières de la chaufferie,
- un générateur indépendant.

Ces solutions centralisées présentent l'avantage de garantir la disponibilité de la fourniture d'eau chaude sanitaire à température stable et en quantité importante et de limiter la puissance et la taille de l'installation. Dans les 2 cas, ces avantages sont renforcés par la présence d'un stockage de l'eau chaude. La taille du stockage doit faire l'objet d'une étude. Les valeurs les plus souvent retenues sont de l'ordre de 25 litres par logement.

En installation collective, la longueur des tuyauteries entre le point de production ou de stockage et les points d'utilisation peut être la cause d'un refroidissement notable de l'eau dans les canalisations. Il en résulte de nombreux désagréments : temps d'attente de l'eau trop long, température insuffisante et risque de développement bactériens dans les réseaux. Pour éviter tous ces inconvénients, l'installation doit assurer un retour d'eau en tête du générateur d'ECS (bouclage).

b) Production individualisée

La production par logement ou individuelle peut se faire par :

- <u>Chaudière individuelle</u> : en logement équipé d'un chauffage individuel, la production d'eau chaude peut être assurée par la chaudière qui alimente l'installation de chauffage. La température de l'eau chaude fournie par une chaudière peut varier notamment en début de puisage. L'installation d'un dispositif mitigeur thermostatique ou d'un ballon de stockage permet de limiter cet inconvénient.
- <u>Chauffe-eau ou accumulateur autonome au gaz:</u> la production indépendante peut être réalisée par un chauffe-eau instantané ou un système à accumulation dont l'eau est chauffée par un brûleur. Ces appareils à combustion doivent impérativement être raccordés à un conduit d'évacuation des gaz brûlés.
- <u>Production électrique :</u> en fonction des besoins la production est assurée soit par un chauffe-eau instantané soit par un chauffe-eau à accumulation.

B) Production simple ou double usage

La production d'eau chaude sanitaire peut être un sous-produit de la production de chaleur pour le chauffage, on parle alors de production double usage, ou bien être autonome par rapport à cette dernière. Dans ce cas la production est dite simple usage. Les deux systèmes peuvent aussi être combinés pour assurer une meilleure régularité dans la fourniture d'une eau chaude à volonté et à température constante dans les moments de grosse consommation : le préparateur instantané va retarder l'épuisement des ballons, et ceux-ci vont assurer la constance de la température [7].

C) La production instantanée ou à accumulation

On parle d'eau chaude sanitaire « instantanée », lorsqu'elle est produite au moment même de l'utilisation. Elle est « à accumulation » lorsqu'elle est constituée par avance et stockée dans un préparateur d'eau chaude sanitaire qui est, soit raccordé à la chaudière, soit chauffé de manière autonome.
Il existe trois types de production d'ECS qui peuvent être classées comme suit : instantané, semi-instantané ou à accumulation.

a) La production instantanée

La production instantanée permet d'assurer la production d'eau chaude uniquement au moment de la demande pour cela il est nécessaire que l'installation dispose d'un échangeur (typiquement à plaque ou tubulaire), le plus souvent intégré à la chaudière, qui permettra de produire une eau à température constante (env. 55°C) [103]. Ce type de production se réalise sans accumulation ou avec une accumulation faible (inférieure à 400 litres).

Cette production est directement dépendante de la capacité de l'échangeur à fournir l'eau chaude nécessaire et donc dépendante de la puissance de la chaudière. Toute l'énergie produite par la chaudière individuelle à l'instant T, est utilisée pour la production d'eau chaude. Celle-ci sera donc prioritaire par rapport au chauffage. On parle alors de priorité ECS. Cette priorité ECS est obtenue le plus souvent grâce à un système d'inversion du circuit hydraulique: l'eau chaude sortant de la chaudière n'irriguant plus le circuit de chauffage mais le circuit primaire de l'échangeur (préparateur ECS). L'eau froide en passant dans le secondaire de l'échangeur est alors réchauffée par échange thermique. A noter que les 2 circuits, primaire et secondaire, sont de nature strictement différente, de par leur température, leur pression et leur composition chimique. Dans le circuit primaire circule de l'eau de chauffage (eau traitée et non potable) et dans le secondaire circule de l'eau de ville.

b) La production semi-instantanée :

Cette production est réalisée par un échangeur suivi d'un ballon d'accumulation. Ce système, semblable au précédent, permet de réduire le dimensionnement de l'échangeur en bénéficiant d'un réservoir tampon pour satisfaire aux pics de consommation [103].

c) La production par accumulation :

Ce type de production est réalisé par un ballon de production. Le chauffage du ballon est classiquement de trois types : résistance électrique, chauffage au gaz ou chauffage par circuit primaire [103].
La production par accumulation permet de stocker de l'eau chaude afin de pourvoir aux besoins. L'avantage de cette solution est d'avoir une quantité d'eau disponible à tout moment, et à température constante, pas de problème de débit, on peut à la fois faire couler un bain et laver la vaisselle, pas de problème de trains d'eau froide car l'eau dans le ballon est stockée à la même température. Le seul inconvénient étant l'encombrement et le coût (ballons, pompes de charge etc...). Pour éviter la propagation de certains agents pathogènes (notamment les légionelles), il est recommandé de stocker l'eau chaude à 55°C minimum, tout en sachant qu'elle ne doit en aucun cas dépassée les 65°C (risques de brûlures).

Un tableau disponible en annexe 6 permet de synthétiser les différents modes de productions individuelles ou collectives d'ECS [16].

3.3.4 Le traitement de l'eau chaude sanitaire

L'eau avant son utilisation nécessite souvent un «traitement» qui sera fonction de sa destination finale. Si l'eau distribuée dans les réseaux est potable il est quelquefois nécessaire de conditionner cette eau en ajoutant des substances complémentaires afin d'apporter des remèdes à certains phénomènes qui apparaissent. Deux phénomènes différents peuvent apparaître dans un circuit d'eau sanitaire : l'entartrage et la corrosion.

La mise en oeuvre d'un traitement de protection d'une distribution d'eau chaude sanitaire se justifie sous deux aspects :

- L'aspect sanitaire car un traitement approprié, en évitant la dégradation du réseau, permet de maintenir les caractéristiques physico-chimiques conformes à la réglementation des eaux d'alimentation,
- L'aspect économique puisqu'il s'agit d'assurer la pérennité des installations et d'optimiser la quantité d'énergie nécessaire à la production d'eau chaude [33].

A) Entartrage et traitements

L'entartrage (dépôt de calcaire) est la conséquence entre autres de l'élévation de la température dans les échangeurs de production d'eau chaude (déplacement de l'équilibre calcocarbonique dans le sens de la formation du carbonate de calcium). Le phénomène d'entartrage a pour principales caractéristiques d'être localisé aux points chauds et peut être facilement mis en évidence par un spécialiste.

Les procédés contre le tartre peuvent être classés en 3 catégories :

- Adoucissement sur résines échangeuses d'ions
- Polyphosphates
- Procédés physiques électromagnétiques.

B) Corrosion et traitements

La corrosion est la résultante d'un certain nombre de facteurs dont les principaux sont liés à la présence de l'oxygène dans l'eau, à l'hétérogénéité des matériaux composant les circuits et aux conditions de fonctionnement. La corrosion peut se généraliser à tout le circuit de distribution et si l'on ne prend pas de précautions, celle-ci n'est mise en évidence qu'à son stade ultime : la perforation.

Les procédés de traitement contre la corrosion sont répartis en 2 familles :

- Les procédés à anodes solubles,
- Les procédés par addition de réactifs liquides (silico-polyphosphates, phosphates-zinc). On parle alors de traitement filmogène.

3.3.5 Entretien des équipements d'eau chaude sanitaire

A) Entretien chauffe-eau ou chaudière à gaz

L'entretien d'un chauffe-eau et d'une chaudière à gaz doit faire l'objet d'un contrat de maintenance qui comprend au moins un nettoyage et un réglage annuel. Le local où ces appareils sont installés doit être ventilé : il faut vérifier régulièrement que les orifices d'entrée et de sortie ne sont pas bouchés [7].

B) Entretien des ballons de stockage électrique

Les ballon de stockage électriques sont des cuves garantis contre la corrosion pendant 5 ou 10 ans. Pour limiter l'entartrage et la corrosion, il faut régler la température de l'eau à 60°C, et éventuellement traiter l'eau en amont. Le groupe de sécurité hydraulique, obligatoire pour les chauffe-eau électriques à accumulation de plus de

30 litres, doit être régulièrement actionné de manière à éviter le blocage du mécanisme par le tartre [7].

C) Entretien réseaux d'eau chaude et robinetterie

Les moyens de détartrage des réseaux et de la robinetterie restent limités : certains éléments de robinetterie (mousseurs…) peuvent être démontés et traités ou actionnés à l'aide de dispositifs spéciaux qui permettent de détacher le tartre.

Les réseaux collectifs, notamment «les boucles d'eau chaude », peuvent faire l'objet de traitement consistant à les nettoyer par abrasion avant de revêtir la paroi interne des tuyaux d'une résine protectrice [7].

D) Corrosion et entartrage

Une eau trouble ou colorée indique la présence de corrosion ou de tartre dans les tuyaux ou dans les ballons. L'eau doit être traitée et il peut être nécessaire de changer certains tronçons du réseau. Dans tous les cas, il faut vérifier que les matériaux employés sont compatibles entre eux et avec les niveaux de température pratiqués. De plus, tout système de traitement de l'eau (adoucisseur, anti-corrosion) doit être régulièrement vérifié et entretenu conformément aux instructions de l'installateur et à l'article 1321-59 du CSP. On notera que l'entartrage est particulièrement important dans les chauffe-eau anciens et qu'il augmente avec la température [7].

Points clés : le circuit d'eau chaude sanitaire et les générateurs d'eau chaude, notamment les ballons à accumulation, s'entartrent. L'entartrage augmente avec l'ancienneté de l'installation et la température. La température de l'eau est fixée réglementairement à 60°C maximum au point d'usage.

4 EVALUATION DES RISQUES LIES AUX TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES

4.1 Méthode appliquée pour l'évaluation des risques

L'évaluation des risques liés aux traitements complémentaires et aux générateurs d'eau chaude a été réalisée à partir de l'analyse de données techniques, bibliographiques et d'entretiens avec des experts de l'Afssa et du CES ''Eau''.

Compte tenu du peu de données disponibles concernant les appareils de traitements individuels complémentaires il apparaît opportun d'étudier l'efficacité des traitements classiques d'eau potable et leurs effets sur la viabilité de *Cryptosporidium*. Bien qu'on puisse légitimement penser que les données recueillies ne seront pas transposables à l'échelle du particulier, elles nous donneront toutefois une idée de l'abattement possible pour certains types de procédés. En effet les mêmes procédés sont utilisés en station et pour le traitement à domicile, par exemple le traitement UV, l'osmose inverse ou la filtration… La différence réside sur la taille et sur le fait qu'en station de traitement la maintenance des appareils est assurée par des professionnels, ce qui est rarement le cas pour les traitements individuels ou collectifs. Cette différence de maintenance peut laisser présager que l'abattement en station de production d'eau d'alimentation sera supérieur à celui par traitements individuels et collectifs.

Certaines expériences et résultats présentés dans la suite du rapport ont été obtenus sur des pilotes ou des appareils de laboratoire [39]. D'autres résultats ont été obtenus *in situ* sur des installations de traitement de l'eau existantes. Des chercheurs se sont penchés sur l'efficacité des traitements de l'eau d'alimentation (sédimentation, floculation-coagulation, désinfection et filtration) pour connaître leur taux d'élimination des oocystes. Cette partie comporte une présentation des résultats obtenus pour les procédés de désinfection et de filtration qui sont communs aux particuliers et aux stations de potabilisation.

Parallèlement Mme Carpentier, M. Derouin, M. Montiel et M. Seux, experts de l'Afssa, ont été interviewés afin d'évaluer qualitativement le risque lié aux traitements complémentaires et aux générateurs d'eau chaude. Des données scientifiques étant peu voire non disponibles à ce jour en France, il semble judicieux de procéder à une évaluation qualitative du risque lié aux appareils de traitements individuels et collectifs ainsi qu'aux ballons d'eau chaude lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*. Ces interviews, basées sur un questionnaire, sont consultables en annexe 9.

D'une façon générale, il est très difficile de répondre aux différentes questions qu'on peut se poser sur ce sujet car aucune étude spécifique n'a été réalisée. On peut simplement se baser sur les données connues de résistance des oocystes à la chaleur et sur les facteurs physique de rétention, liés à la taille des oocystes.

4.2 Données scientifiques : les procédés de traitement et leur efficacité

4.2.1 La désinfection

A) <u>Traitement au chlore</u>

Des études ont porté sur la résistance de *Cryptosporidium* aux désinfectants classiques de l'eau. Il est alors apparu que des doses habituelles de chlore, de 1mg/l, ne suffisent pas à assurer l'inactivation totale des oocystes de *Cryptosporidium.* La chloration de l'eau de boisson (chlore libre résiduel à 0,1mg/l) n'a aucun effet sur le pouvoir infectant des oocystes

A partir des données expérimentales disponibles en annexe 8 on peut conclure que la concentration en chlore libre qui serait nécessaire pour réduire à zéro la viabilité des oocystes présents dans l'eau est tout à fait incompatible avec la consommation humaine.

B) Traitement au dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore est généralement considéré comme un désinfectant plus puissant que le chlore, mais *Cryptosporidium* résiste encore assez bien, comme l'ont montré certaines études (annexe 8). Les concentrations utilisées en eau potable, restent insuffisantes pour éliminer tout risque de contamination notamment si l'eau brute contient une quantité importante d'oocystes.

C) Traitement avec d'autres désinfectants

D'autres désinfectants assez couramment utilisés ont été testés pour leur capacité de destruction des oocystes de *Cryptosporidium* et les résultats sont peu encourageants. L'hypochlorite de sodium, l'hydroxyde de sodium, l'acide crésylique, l'iodophore et le formaldéhyde à 5% n'ont aucun effet sur la viabilité des oocystes [39,14]. Ainsi l'incubation d'oocystes dans une solution de javel à 20% (soit 1,05% d'hypochlorite de sodium) pendant 12 minutes dans la glace a montré que les oocystes pouvaient toujours excyster [87]. Le péroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le permanganate de potassium ($KmnO_4$) et la monochloramine (NH_2Cl), aux concentrations utilisées en station de production d'eau potable, n'ont aucun effet sur les cryptosporidies [14]. En revanche, les oocystes de *Cryptosporidium* sont sensibles à l'ammoniaque gazeux 5-50% (Oocide, désinfectants d'élevage…), à l'H_2O_2 à 3% et au formol 10% [14,annexe 4].

D) Traitement à l'ozone

L'ozone est souvent utilisé comme un désinfectant puissant. Dans le cas de *Cryptosporidium*, il a donné des résultats encourageants. Les spécialistes s'accordent à dire que le paramètre important dans l'ozonation est le produit de la concentration de désinfectant résiduel (C) par le temps de contact (T). C'est avec ce coefficient CT que l'on peut comparer les différentes doses d'application. Il faut également tenir compte de la température [39]. Au vu des résultats disponibles en annexe 8 on constate que des doses de 3 à 6 mg.min/L suffiraient pour l'inactivation de 90 à 99% des oocystes. La constante d'inactivation de *Cryptosporidium* par l'ozone est de 0,62 L/mg.min à 7°C (concentration d'ozone à appliquer sur les oocystes pour les détruire) [39].

E) Traitement UV

La désinfection par des rayonnements ultra-violets (doses de 400 J/m^2) se présente comme une alternative aux traitements chimiques conventionnels, avec l'avantage de créer peu de sous-produits dangereux pour la santé de l'Homme. La dose couramment utilisée est de 300 J/m^2 dans les systèmes actuels, la longueur d'onde germicide étant de 253,7 nm [39]. Néanmoins, pour cette valeur d'exposition, les oocystes de *Cryptosporidium* sont inactivés à moins de 90%, ce qui est en général considéré comme insuffisant (annexe 8).

D'autre part, Campbell (1995) [20] a obtenu une inactivation des oocystes de plus de 2 log avec une exposition à un rayonnement ultraviolet de 87480 J/m^2, mais la dose est environ 300 fois celle administrée actuellement, ce qui paraît d'application peu réaliste aujourd'hui. Une autre étude [80] a obtenu une inactivation des oocystes (vérifiée par inoculation sur des souris) pour des durées d'exposition supérieures à 150 minutes et des doses de 15000 mW/s mais sans précision sur la surface spécifique d'activation, ce qui limite les possibilités de comparaison avec d'autres résultats. En 1999, Hargy a mis en valeur le fait que l'inactivation donnée par ces recherches était bien inférieure à l'inactivation réelle obtenue par des expériences sur des animaux *in-vivo* [59]. Dans la pratique, une dose de 250 à 400 J/m^2 permettrait d'obtenir un abattement de 2 à 3 log pour une turbidité très faible [14].

4.2.2 La filtration

A) Filtration lente sur sable

La filtration lente sur sable se caractérise par une vitesse d'écoulement relativement faible, de l'ordre de 0,1 à 0,2 m/h en moyenne. L'efficacité de ce traitement est très probablement liée à l'intégrité du film superficiel (colonisation bactérienne et algale) qui a le pouvoir de retenir les particules non désirées. La gestion des phases de remise en service après décolmatage se révèle à ce titre cruciale. Les recherches ont montré une efficacité d'enlèvement de 48% des oocystes de *Cryptosporidium* sur une usine au Canada [47]. En revanche, en 1995, l'équipe de Timms a obtenu un taux d'abattement supérieur à 4 log sur un pilote et pour une durée de quelques heures [121]. D'après le rapport Afssa [14] la filtration lente biologique permettrait une élimination de 4 log pour un niveau de turbidité <0,1.

B) Filtration rapide sur sable

Cette technique de filtration se fait à des vitesses de l'ordre de 5 à 10 m/h. Son efficacité peut atteindre 91% d'après Rose *et al.* ou 99,9 % (3 log) d'après Schuler *et al.*[113, 2]. C'est donc une technique qui n'est pas encore assez efficace, mais qui est en train de s'affiner [39].

C) Filtration sur membrane : micro-filtration et ultra-filtration

Ces nouvelles méthodes sont utilisées depuis peu de temps par comparaison avec l'histoire des procédés de traitement de l'eau. Elles sont très efficaces pour le contrôle de beaucoup de paramètres de l'eau et les résultats sont très encourageants pour le traitement de *Cryptosporidium*.

En effet, il semblerait que ces procédés éliminent totalement les protozoaires. L'équipe de Adham a obtenu des résultats d'abattement supérieurs à 4 log, mais en réalité, cela provient du fait que les eaux étaient chargées à 104 oocystes/L de *Cryptosporidium* et il ne restait quasiment jamais d'oocyste [2]. Jacangelo (1995) souligne que micro-filtration et ultra-filtration peuvent retirer au moins 4 log d'oocystes à des eaux chargées à plus de 106 oocystes/L [70]. Les études menées par Hirata (1998) montrent qu'on peut obtenir des taux de filtration supérieurs à 7 log [61]. D'après le rapport de l'Afssa [14], la microfiltration (0,5 µm) et l'ultrafiltration permettraient d'éliminer plus de 5 log de *Cryptosporidium* pour des valeurs de turbidité de l'eau < 0,1.

Le point de faiblesse de ces membranes résiderait au niveau du joint qui pourrait laisser passer des particules [41]. D'autre part, il semblerait que les oocystes de *Cryptosporidium* soient très déformables ce qui expliquerait leur passage éventuel à travers les membranes [39]. En effet Rose (1990) rapporte que 57% de l'échantillon a traversé un filtre de 3 µm de diamètre nominale [19, 42]. Certains oocystes pourraient même traverser des filtres de 1µm de diamètre nominal [87].

La plupart des désinfectants usuels n'ont que peu d'effet sur l'oocyste ou alors à des concentrations et des temps de contact tels qu'ils ne sont pas compatibles avec une utilisation raisonnée. Seul, pour l'instant le traitement UV semble efficace et cela à l'échelle individuelle également dans la mesure où la puissance appliquée est d'au moins 400 J/m^2 et que le dispositif fonctionne en continu. De plus on peut penser que seuls des filtres dont les pores ont des diamètres absolus de 1µm et moins puissent permettre un abattement de plusieurs log d'oocystes de *Cryptosporidium* retrouvés dans l'eau. Enfin, la faible sédimentation des oocytes et l'efficacité insuffisante du chlore aux concentrations appliquées dans le réseau de distribution peuvent expliquer que la viabilité des oocystes n'est pas réduite significativement lors d'une augmentation du temps de séjour dans les canalisations [79].

D'autres données bibliographiques sont également importantes pour évaluer le risque liés à *Cryptosporidium* dans les différents appareils de traitement : les conditions de survie des oocystes de *Cryptosporidium* dans l'environnement (cf.1.1.E). En effet

connaissant les spécificités des matériaux constitutifs des dispositifs de traitement et leurs conditions d'exploitation (Température, doses irradiantes…) nous serons à même d'estimer si les oocystes de *Cryptosporidium* peuvent y survivre ou non.

4.3 Evaluation qualitative des risques à partir d'entretiens scientifiques

4.3.1 Impact des appareils sur les oocystes de *Cryptosporidium*

Lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*, les différents appareils complémentaires ne vont pas tous avoir la même action sur *Cryptosporidium*. Certains vont retenir les oocystes, d'autres vont avoir un pouvoir d'inaction et d'autres enfin n'auront aucune action.

A) Rétention

Lors de la contamination du réseau certains appareils vont retenir mécaniquement les oocystes de part la taille des pores des matériaux. La présence de biofilm peut également être en cause dans la rétention des oocystes par les différents appareils de traitement.

a) Rétention mécanique

Les oocystes ayant une taille comprise entre 4 et 6 µm, tout système de filtration dont le seuil de coupure est inférieur ou égale à 1 µm est susceptible de retenir les oocystes.

En effet, les oocystes sont flexibles et peuvent passer à travers des filtres dont les seuils de coupures sont de 3 µm [19]. De plus les fabricants assurent que l'intervalle de confiance sur le diamètre absolu des filtres reste inférieur à la taille des oocystes pour un diamètre absolu de 1 µm (les seuils de coupures garantis par les fabriquant suivent une loi de Gauss).

De plus, l'étude du Département de l'Environnement du Royaume Uni qui conclut dans son rapport de janvier 1996 que les filtres en céramiques (pores < 1µm) et les procédés de microfiltration sont susceptibles de retenir les oocystes de Cryptosporidium confirme cette observation [40].

Le filtres d'osmose inverse, dont les seuils de coupures sont inférieurs au micromètre, peuvent également retenir les oocystes, sauf en présence de fuites (mauvaise étanchéité des joints, hautes pressions...) comme on l'a vu au §4.2.2.C. On estime les fuites en osmose inverse de l'ordre de 1 à 2%.

La rétention par filtration sur charbon actif varie de 5µm à 20 µm en moyenne. Cette variation dépend du type de charbon utilisé (en poudre ou granules et du matériau filtrant entourant le charbon) [91,97]. Le charbon en poudre liée par de la polyoléfine sous forme de bloc présente un seuil de rétentention de 0,5 µm lui permettant d'être efficace contre le passage de *Cryptosporidium* [91]. Cette capacité qu'ont certains type de charbon actif à retenir les oocystes de Cryptosporidium est confirmée par l'étude en 1997 de Abbaszadegan qui montre que le charbon actif utilisé par le système individuel de traitement testé permet de retenir 99,95% des particules de 3 à 4 µm [1].

De plus, comme nous l'avons vu, certains charbons actifs sont entourés d'un filtre mécanique. Si ce filtre présente un seuil de coupure de moins de 1 µm alors les oocystes seront retenus. On notera que généralement la porosité de ce filtre est de 0,45 µm.

Au niveau des filtres à charbon actif il faut également distinguer les charbons actifs mordancés à l'argent. Actuellement l'effet de l'argent sur les oocystes n'a pas été étudié. On ne connaît donc pas son effet sur les oocystes. On considèrera, d'après les experts, qu'il n'y a pas de rétention des oocystes pour les filtres mordancés à l'argent et que les oocystes peuvent survivre dans ces appareils.

Du fait de leur taille (4 à 6 µm) les oocystes ne peuvent pas être éliminés directement par une filtration simple sur des filtres à charbon actif. En station de

production d'eau d'alimentation, il est impératif d'effectuer au préalable une coagulation physico-chimique de l'eau. Ainsi, en Angleterre, pour des eaux de la craie influencées par des eaux de surface, des installations constituées d'une ozonation et d'une filtration sur charbon actif en grains ont montré leur inefficacité vis à vis des oocystes à *Cryptosporidium* [86].

Pour les filtres à charbon actif qui ne présentent pas de filtre de 0,45 µm ou dont le procédé ne présente pas une rétention de l'ordre de 0,5 µm à 1 µm, tous les oocystes présents dans l'eau ne sont pas retenus. Dans ce cas seule une partie des oocystes est retenue mécaniquement pendant un certain laps de temps.

Au niveau des adoucisseurs et autres filtres à résines une partie des oocystes peut être piégée du fait de leur taille (4-6µm). Les pores d'une résine macroporeuse ont un diamètre de l'ordre de 100 nm et celles d'une résine de type gel de l'ordre du nm [10]. Il est donc difficile aux microorganismes dont la taille est supérieure à 0,1 µm de pénétrer à l'intérieur. Mais ils peuvent être retenus par le lit de billes. En effet, la granulométrie des billes des résines leur fait parfois jouer le rôle de filtre [53].

Il est à noter que lorsqu'on utilise un adoucisseur toute l'eau n'est pas adoucie, une partie est by passée pour permettre un apport en calcium dans l'eau. En effet l'adoucisseur enlève la totalité des ions calcium or cela est incompatible avec la législation en vigueur. Ainsi une partie des oocystes n'est pas retenue et peut passer directement dans le réseau intérieur jusqu'au robinet du consommateur. Le niveau de contamination est donc simplement diminué par effet de dilution.

Aussi il ressort des différents entretiens (annexe 9) et des données scientifiques que les osmoseurs, les adoucisseurs et les différents filtres à eau (charbon actif ou filtres mécaniques) sont susceptibles de retenir *Cryptosporidium* lors de la contamination du réseau.

b) La rétention par biofilm

Des biofilms peuvent se former sur les différents procédés de filtration cités précédemment. D'après les experts les oocystes pourraient être piégés dans le biofilm bactérien. Les oocystes ne se développeraient pas dans ces biofilms mais y survivraient. En effet, dans l'eau les *Cryptosporidium* sont sous formes de kystes et ont besoin de cellules épithéliales de intestin d'un hôte pour assurer leur cycle parasitaire.

B) <u>Inactivation</u>

Certains appareils ne sont pas susceptibles de retenir les oocystes mais peuvent les inactiver. C'est le cas pour les appareils à traitement UV qui inactivent les oocystes pour des valeurs d'au moins 400 J/m^2.

La dose d'irradiation (dose d'exposition létale) dépend du micro-organisme cible. La résistance des germes au rayonnement UV peut varier de manière importante. Ainsi pour inactiver *Cryptosporidium* la dose d'irradiation nécessaire est de 400 J/m^2.

La dose généralement minimum à appliquée, selon la circulaire du 19 janvier 1987, est de 250 J/m^2. Aussi, la plupart des appareils vendus génèreraient des irradiations de 250 J/m^2. Cette dose est considérée comme la dose minimum a appliquée pour obtenir des effets bactéricides et virulicides. Ces effets sont immédiats, il n'y a pas de rémanence [15]. Pour le moment seul le procédé UVASTER est autorisé par la DGS après avis de l'Afssa. Ce procédé génère 400 J/m^2, ce qui permet d'inactiver les parasites comme *Cryptosporidium*.

C) <u>Destruction</u>

Les distillateurs, peu utilisés en France, permettent de porter l'eau à ébullition (100°C). Les oocystes étant détruits pour des températures de 65°C pendant 2 minutes (1.1.5.B), on peut penser que les distillateurs détruisent les oocystes. En outre au cours de la distillation l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux. Or les microorganismes ne peuvent pas être entraînés pas la vapeur.

Des températures de 65°C pendant 5 minutes les oocystes sont susceptibles d'être tués. Pour des températures de 50°C ou 60°C l'étude de Fayer a montré que des oocystes peuvent survivent. En effet, d'après cette l'étude, certains oocystes ont conservé leur caractère infectieux pour une température de 59,7°C et un temps de 5 min [45]. Aussi, d'après les experts, les oocystes sont détruits si les températures et les temps de contact sont suffisant dans les générateurs d'eau chaude.

D) Procédés sans impact

Aux doses utilisées pour l'eau d'alimentation, les ozoneurs et les chlorateurs n'ont aucun effet sur les oocytes présents dans l'eau. En effet, la concentration en chlore libre qui serait nécessaire pour réduire à zéro la viabilité des oocystes présents dans l'eau est tout à fait incompatible avec la consommation humaine : en condition expérimentales, en présence de 80 mg de chlore libre par litre pendant 90 min, la viabilité des oocystes diminue seulement de 90% [79].

Le conditionnement par adjonction de produits chimiques (silicates, polyphosphates…) n'a également aucun effet sur les oocystes. Pour les doses ajoutées ($\approx$ 10 mg/L de silice, $\approx$ 5 mg/L de P_2O_5) on n'observe pas de variation de pH susceptible d'inactiver des oocystes (cf.1.1.E).

Les appareils de traitement physique de l'eau utilisent des procédés électromagnétiques qui pourraient avoir une action sur l'entartrage des canalisations mais, *a priori*, pas *sur Cryptosporidium*. Dans la mesure où l'on pourrait penser que les oocystes puissent être piégés dans les dépôts calcaires des générateurs d'eau chaude, ces appareils pourraient empêcher ce dépôt de tartre et donc la rétention des oocystes.

4.3.2 Risques liés aux appareils

A) Relargage des appareils de rétention après contamination du réseau

Une fois la contamination passée, pour ce qui concerne les résines, un retour d'eau peut entraîner un relargage des oocystes vers le réseau de distribution. Il est à noter que d'après la circulaire du 27 mai 1987 relative à l'emploi des résines échangeuses de cations pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine, les installations doivent comporter «au moins un clapet de non-retour contrôlable sur la canalisation d'alimentation ainsi que sur tout bipasse ». Si la loi est respectée il ne devrait pas y avoir, lors d'un retour d'eau, de risque de relargage d'oocystes vers le réseau.

Il est à noter que lors de la régénération des résines il faut veiller à les manipuler avec précaution. En effet en cas de forte agitation du filtre à résine des oocystes piégés dans le biofilm bactérien ou retenus sur le lit de billes peuvent se décrocher et contaminer le réseau.

Le risque de relargage d'oocystes est également possible pour les différents filtres mécaniques à 1 µm et les filtres à charbon actif où il n'y a pas de clapet anti-retour installé en amont du filtre. En effet, les filtres, placés à l'entrée de l'habitation, sont susceptibles lors d'un retour d'eau de relarguer des oocystes dans le réseau publique. Ces mêmes filtres, installés à un point d'usage de l'habitation (ex : robinet de cuisine), lors d'un retour d'eau, peuvent relarguer des oocystes vers les autres points d'usage de l'habitation (ex : salle de bain). De plus une prolifération ou une accumulation de microrganismes sur le filtre peut conduire à une saturation du média filtrant et à un perçage de ces derniers dans l'eau potable.

Pour les filtres dont le seuil de coupure est supérieur à 1µm, une partie des oocystes va être retenue mécaniquement. Ces oocystes pourraient être relargués dans le réseau lors de retours d'eau ou passer en continu à travers le filtre dans l'eau potable, au niveau du point d'usage où le filtre est installé.

Pour les osmoseurs le risque est le même que celui des filtres mécaniques de porosité < 1 µm. Les retours d'eau et la perforation du filtre peuvent constituer un risque de contamination de l'eau d'alimentation.

Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'un filtre ou d'une résine, lors d'un retour d'eau, le relargage des oocystes sera massif et se déroulera sur un laps de temps très court (pic d'oocystes).

En ce qui concerne le risque de relargage des oocystes via les biofilms bactériens qui sont susceptibles de se développer dans les appareils de filtration et les résines, on peut penser que celui-ci est similaire au détachement du biofilm. Une étude menée conjointement par l'Afssa et l'INRA [26] a montré qu'au cours d'un nettoyage par ultra-son, le détachement de spores de *Bacillus stearothermophilus* est proportionnel au détachement des cellules végétatives constituant le biofilm. Les spores utilisées lors de l'études étant inertes, on peut supposer qu'elles ont un comportement similaire à celui des oocystes qui sont en état de latence dans l'environnement. Toutefois cette hypothèse est discutable. En effet, on ne sait pas si les spores et les oocystes ont le même comportement dans un biofilm bactérien. De plus, les conditions de développement du biofilm diffèrent : dans un cas il est formé expérimentalement en conditions statiques, un mélange de spores et de cellules végétatives est déposé sur une surface, et dans l'autre le biofilm se forme naturellement en conditions dynamiques (sous un écoulement d'eau dans des appareils de traitement de l'eau ou dans les réseaux) et les micro-organismes entrent en contact avec les surfaces en ordre dispersé.

B) Rôle protecteur des appareils de rétention pendant la contamination du réseau

On peut penser que pendant l'épidémie les appareils de rétention cités précédemment vont avoir un rôle protecteur. En effet durant la contamination de l'eau par le parasites ces systèmes vont retenir les oocystes et les concentrer. Ces appareils, notamment les filtres de 1 µm et moins, auront un effet préventif durant l'épidémie. Ainsi durant l'épidémie de Milwaukee une étude a montré que les filtres à eau dont le seuil de coupure était inférieur à 1 µm réduisaient considérablement les risques de cryptosporidiose [3].
Cependant, après l'épidémie le risque de relargage est possible si les résines, membranes et filtres ne sont pas changés.

C) Accumulation d'oocystes

Pour des températures de moins de 70 °C dans les différents générateurs d'eau chaude, il existe un risque d'accumulation d'oocystes dans les boues des cuves (dépôts de calcaire). Ces oocystes peuvent ensuite être remis en suspension lors d'un soutirage important. Il est à noter que le risque sanitaire lié à *Cryptosporidium* peut être considéré comme relativement faible dans la mesure où les oocystes sont tués à 65°C pour un temps de contact de 2 min (cf 1.1.5). Ceci est particulièrement vrai dans les systèmes à accumulation où l'eau reste à une température supérieure à 60 °C pendant un temps assez long.

Aussi d'après l'avis de l'Afssa du 21 janvier 2003 concernant un projet d'arrêté relatif à la température de l'eau chaude sanitaire : "[…] L'Afssa estime que lorsque des installations de production et de distribution d'eau chaude sanitaire desservant des points de puisage à risque comportent des dispositifs de stockage de l'eau […] la température de l'eau en sortie des installations de stockage devrait toujours être supérieure à 55 °C et l'ensemble du volume d'eau de chaque installation de stockage être porté, au moins une fois par 24 heures, à une certaine température pendant une durée suffisante pour réduire la teneur en légionelles d'un facteur dépendant du niveau de sécurité sanitaire retenu, par exemple à une température de 60 °C pendant une heure pour une réduction d'un facteur d'au moins 1000,[…]"

4.3.3 Eléments manquants pour évaluer le risque sanitaire

D'une manière générale, des recherches scientifiques semblent nécessaires pour connaître les effets biocides des différents appareils. Actuellement on possède extrêmement peu de données concernant les capacités de rétention ou tout effet biocide des appareils de traitements sur la survie des *Cryptosporidium*

L'évaluation précise de la capacité de destruction ou de rétention des appareils vis-à-vis de *Cryptosporidium* devrait s'appuyer sur une évaluation expérimentale, portant sur la morphologie des parasites, leur viabilité et leur infectiosité. Or, actuellement, on ne dispose pas de ces données, car les modèles d'étude expérimentale sont complexes et maîtrisés par très peu de laboratoires (culture cellulaire, inoculation à l'animal).

Des expérimentations sont envisageables. Pour cela il convient d'étudier les conditions de température, pH, etc… de l'appareil. Puis on observerait expérimentalement le comportement des oocystes dans ces mêmes conditions en laboratoire. Un travail sur l'efficacité vis-à-vis de *Cryptosporidium* des différents agents physiques et chimiques utilisés dans les appareils complémentaires est possible.

Des expérimentations sont notamment nécessaires pour savoir :

- si l'argent des filtres à charbon est efficace contre *Cryptosporidium* et s'il n'est pas susceptible d'être relargué avec le veillissement,
- si la saumure, aux concentrations utilisées lors de la régénération des résines, permet d'inactiver voir de tuer *Cyptosporidium*,
- si le risque de relargage des appareils de filtration est réel et quelles sont l'ampleur et la nature de ce relargage.

Il serait utile de connaître les doses d'irradiation UV utilisées à domicile. D'après les experts, elles ne dépasseraient pas 250 J/m^2. Dans ce cas il n'y aurait pas d'inactivation possible des oocystes. Le risque sanitaire est d'autant plus accru que la maintenance des lampes est rarement effectuée par les usagers.

L'utilisation de la soude à pH 13-14 pour tuer les oocystes lors de la régénération des résines serait également à étudier. Dangereuse pour le particulier, cette solution apparaît envisageable pour les adoucisseurs utilisés et entretenus en milieu industriel.

On s'aperçoit également que les phénomènes de rétention des oocystes de *Cryptosporidium* dans les biofilms sont mal connus et très peu documentés. Des études seraient donc à mener sur ce point.

De plus, par rapport aux niveaux de concentrations en oocystes qui arriveraient aux différents appareils en période normale ou lors de crises, là encore très peu de données sont disponibles. En effet, les données sur les niveaux de contamination des eaux brutes (eaux superficielles, eaux karstiques) et des eaux potables distribuées en France sont insuffisantes.
Il y a également un manque de données épidémiologiques sur l'incidence des cryptosporidioses, qui rend difficile toute étude précise des facteurs de risque.

5 RECOMMANDATIONS ET GESTION EN CAS DE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR *CRYPTOSPORIDIUM*.

Les recommandations préconisées dans cette partie sont essentiellement des mesures de prévention. Elles ont pour objectif de limiter l'exposition et la contamination de la population.

5.1 Recommandations générales

D'une manière générale, la qualité de l'évaluation du risque, sa gestion et la définition de mesures préventives adaptées et efficaces repose sur une bonne identification du danger, une connaissance de sa diffusion, une appréciation de l'exposition et des effets. Or, le rapport de l'Afssa met clairement en évidence un manque de données sur ces différents points, en France.
Quatre démarches complémentaires semblent prioritaires pour améliorer et renforcer leur recueil :

- le recueil de données sur la contamination de l'eau et des aliments par les cryptosporidies,
- la mise en place d'un réseau de laboratoires de référence,
- la diffusion d'une large information sur *Cryptosporidium sp.* et sur la cryptosporidiose,
- la conduite d'enquêtes épidémiologiques, chez l'Homme et chez l'animal ;

Pour connaître le niveau de concentration en oocystes pouvant arriver aux différents appareils, il est nécessaire de connaître le niveau de contamination de l'eau en situation normale et lors de crises. Comme explicité dans le rapport de l'Afssa peu de données sont actuellement disponibles directement sur le niveau de contamination de l'eau en France car, bien que des recherches de cryptosporidies dans l'eau soient pratiquées à titre d'étude ou de surveillance des captages ou lors de la production par les responsables des installations, elles ne sont pas répertoriées dans la base de données SISE-EAUX (Système d'Information en Santé Environnement sur les Eaux) par les DDASS.

Peu de déterminations ont été effectuées dans le cadre d'un renforcement du contrôle sanitaire réalisé par les DDASS. La mise en application des articles R 1320 et suivants du CSP devrait améliorer ce recueil de données car la recherche de micro-organismes pathogènes et notamment de *Cryptosporidium sp.* est prévue dans les eaux superficielles, en cas de présence de bactéries sulfito-réductrices. Par ailleurs, les programmes de surveillance prévus par les art. R 1321-24 et R 1321-25 devraient renforcer le dispositif de suivi des eaux à risque.

De plus, le recueil de données microbiologiques, environnementales et épidémiologiques lors d'accidents de contamination du réseau de distribution devrait pouvoir se faire en temps réel de façon à rendre possible la mise en œuvre d'une analyse de la situation fiable et exploitable pour les gestionnaires et les évaluateurs du risque (voir VII. - 2.6.2). L'ensemble des données recueillies par les DDASS et par les distributeurs d'eau devrait être regroupées dans la base de données SISE-EAUX. Elles permettraient une interprétation locale en fonction des différentes informations environnementales et sanitaires concernant les cryptosporidies, et une exploitation nationale [14, rapport AFSSA]. Un rapprochement des services du ministère chargé de la santé et du ministère chargé de l'environnement sur ce point et sur l'eau en général serait envisageable afin d'obtenir et de synthétiser le maximum de données environnementales et épidémiologiques.

Une possibilité serait de prévoir par exemple, notamment pour les villes de plus de 10 000 habitants, d'obliger les distributeurs d'eau à effectuer 3 analyses de *Cryptosporidium* par mois pendant une année comme préconisé dans le rapport de

l'Afssa. On aurait ainsi une idée de la prévalence des oocystes dans l'eau dans les différentes régions de France. On saurait ainsi quels sont les sites à risque, où accroître la surveillance, améliorer les moyens de traitement, préconiser des clapets anti-retour pour les appareils de traitement…. Les analyses de contrôle pourraient s'effectuer selon le même principe que celui mis en place en Angleterre où la fréquence du contrôle de l'eau résulte de :

- l'analyse du type ressource et de son niveau de contamination,
- et de l'évaluation de l'efficacité de la filière de traitement vis-à-vis de *Cryptosporidium*.

Un recensement des défaillances techniques à l'origine de survenue d'épidémies en France serait également judicieux. Ce retour d'expérience permettrait d'éviter de commettre les mêmes erreurs à l'avenir.

Sur le plan pratique, vis-à-vis du risque lié aux appareils de traitement, il est nécessaire de proposer des protocoles d'évaluation expérimentale de l'effet des principales conditions physico-chimique auxquelles sont exposés les oocystes dans les appareils sur leur viabilité/infectiosité : exposition plus ou moins longue à des températures, choc thermique, détergents, mesures d'entretien habituellement utilisés…

5.2 Recommandations par rapport aux risques liés aux appareils de traitements et aux générateurs d'eau chaude

5.2.1 Recommandations pour la population immunocompétente

Après une épidémie par *Cryptosporidium* il serait judicieux que les autorités sanitaires préviennent la population qu'une purge du réseau va être effectuée et qu'il est nécessaire alors de débrancher les appareils susceptibles de retenir les oocystes (adoucisseurs, osmoseurs, filtres…). Bien qu'en théorie cette recommandation soit utile, elle paraît difficilement applicable en pratique du fait de l'importance de l'organisation qu'elle implique. Toutefois elle peut être mise en œuvre pour les établissements collectifs ou recevant du public (hors établissement de soins) et qui disposent d'une équipe de maintenance.

Une fois l'eau du réseau jugée à nouveau sûre par les autorités sanitaires, il serait souhaitable de conseiller aux détenteurs d'adoucisseurs et autres filtres à résines de procéder au changement de leur résine. Toutefois, dans le cas des adoucisseurs, si des données expérimentales prouvent que la saumure a un effet biocide sur les oocystes, il serait peut être suffisant de conseiller aux détenteurs d'adoucisseurs d'effectuer plusieurs cycle de régénération.

Il conviendrait également de changer la cartouche des carafes filtrantes, des filtres à charbon actif et des différents filtres dont les seuils de coupures sont de 1 µm et moins. On pourrait envisager, par mesure de précaution, de conseiller le changement des cartouches des filtres dont les seuils de coupures sont supérieurs à 1µm. Ces filtres peuvent en effet retenir en partie les oocystes. Les seuils de coupure garantis par les fabricants suivent une loi de Gauss et une partie des pores d'un filtre dont le seuil de coupure est de 3 µm par exemple seront inférieurs à 1 µm et retiendront des oocystes. Le changement des filtres, résines et cartouches devrait être réalisé après un délai suffisant pour s'assurer que le réseau n'est plus contaminé. Ce délai devrait être défini par les autorités sanitaires compétentes en relation avec le distributeur d'eau potable (temps de séjour dans le réseau).

Dans le cas d'une contamination par le réseau il faudrait veiller à ne pas oublier de décontaminer certains types d'appareils tels que les fontaines réfrigérantes, les machines

à glaces ou encore les réfrigérateurs alimentés par l'eau du réseau et qui possèdent parfois des filtres internes susceptibles de retenir les oocystes.

Concernant les ballons d'eau chaude, dans la mesure où le réglage et donc la maîtrise de la température peuvent être variables, par souci de précaution, une vidange peut contribuer à l'élimination d'oocystes éventuellement restés en suspension dans l'eau ou piégés dans les boues au fond du ballon.

5.2.2 Recommandations pour les populations sensibles

Pour les personnes infectées par le VIH ayant moins de 100 lymphocytes CD4/mm^3 les recommandations suivantes sont applicables de façon permanente :

- l'eau consommée doit provenir exclusivement d'eau embouteillée exempte de parasites. Les glaçons fabriqués à partir d'eau du réseau sont également proscrits,
- l'utilisation de dispositifs individuels pour la filtration de l'eau au robinet, d'une porosité maximale de 1µm n'est pas recommandée car son efficacité sur les cryptosporidies et sa maintenance ne peuvent être garanties. De même, les dispositifs basés sur l'utilisation exclusive de charbon actif ou de résines iodées sont peu actifs vis-à-vis de *Cryptosporidium* [14, rapport Afssa].

En cas de contamination du réseau d'eau il faudra veiller à ce qu'ils n'utilisent pas l'eau du réseau. Excepté pour l'eau de consommation, une solution à étudier serait l'utilisation d'un distillateur pour les autres usages de l'eau. En effet on sait qu'à 100 °C les oocystes sont détruits.

Les personnes dialysées ne doivent utiliser que des filtres de diamètre absolu inférieur à 1 µm et en cas de contamination du réseau ils doivent changer les filtres après que l'eau ait été jugée comme sûre par les autorités sanitaires.

A l'hôpital les personnes infectées ne doivent pas utiliser les fontaines de distribution d'eau alimentées par l'eau du réseau ni les machines à distribuer des glaçons qui peuvent être installées dans les services hospitaliers (rapport Afssa) [14].

En cas de contamination du réseau par *Cryptosporidium*, les recommandations des appareils de traitements utilisés en établissements de soins tels que les adoucisseurs, osmoseurs ou encore les générateurs d'eau chaude sont les mêmes que celles évoquées précédemment au § 5.2.1. à l'exception de la recommandation concernant le débranchement des appareils. En effet, compte tenu de l'importance de la continuité de service en établissement hospitalier le débranchement des appareils n'est pas envisageable.

Enfin, en ce qui concerne les jeunes enfants (population dite à risque) il faudra veiller à ce qu'ils n'utilisent pas l'eau du robinet et qu'ils consomment de l'eau embouteillée pendant l'épidémie. Cette recommandation sera sans doute à prolonger un certain temps après la décontamination du réseau.

5.3 Mesures de prévention face au risque de Cryptosporidiose

Lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium* il serait utile, dans le cadre des études épidémiologiques menées par les DDASS, de disposer de données relatives aux traitements complémentaires (adoucisseurs, osmoseurs, ballons d'eau chaude...) chez les consommateurs ayant déclaré des cas de gastro-entérites. Les médecins pourraient, par exemple, lors d'un cas de cryptosporidiose, demander au patient s'il possède ou non un appareil de traitement complémentaire. Les personnes identifiées par la DDASS comme atteintes de cryptosporidiose et possédant un appareil de traitement seraient ensuite interrogées par téléphone sur la qualité de l'entretien des ces appareils

(fréquence de remplacement, mode d'entretien…). Ainsi il serait sans doute possible d'établir :

- s'il existe un lien ou non entre la survenue de cryptosporidiose et l'utilisation d'un traitement complémentaire au domicile du consommateur,
- s'il existe un lien ou non entre l'absence de maladie et la maintenance de ces appareils (les personnes ayant remplacé leur filtre ou membrane de leurs appareils pourraient être moins malades que celles qui ne les ont pas remplacé…)

On pourrait également poursuivre le recensement des cas de cryptosporidiose après la fin de l'épidémie durant un temps à définir par les autorités. Ainsi, on serait en mesure de déterminer si les appareils sont susceptibles de relarguer ou non des oocystes. Les cas de cryptosporidiose qui surviendraient 9 jours (temps d'incubation) après que l'eau du réseau ait été jugée sure pourraient être attribués à un relargage d'oocystes des appareils de traitements complémentaires.

Cette recommandation peut sans doute être soumise à l'InVS qui prépare actuellement un protocole d'enquête sur les épidémies hydriques.

L'installation d'un disconnecteur en amont du dispositif de traitement est fortement recommandée dans la mesure où il empêcherait tout retour d'eau et donc tout relargage d'oocystes dans le réseau. Cependant, dans tous les cas, le changement des résines et des cartouches est nécessaire, une fois le réseau d'eau décontaminé. On pourrait également prévoir d'imposer au fabriquant des disconnecteurs intégrés aux systèmes de traitement. En effet la bonne installation d'un tel dispositif n'est pas forcément aisé pour l'ensemble de la population.

Un point important dans la gestion du risque lié aux appareils de traitement est leur entretien. Aussi une attention particulière doit être portée sur leur maintenance. Il faudrait étudier la possibilité de rendre cette maintenance obligatoire par des professionnels pour les établissements de soins, comme c'est le cas actuellement pour les chaudières à gaz par exemple. De plus, pour les traitements individuels, des recommandations générales d'entretien et d'utilisation lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium* doivent être explicitées par les fabricants d'appareils, par exemple au niveau des notices.

Afin de vérifier que les recommandations évoquées précédemment soient bien appliquées il faudrait au minimum répertorier les appareils de traitement collectif (immeubles, hôpitaux…). Des fiches pourraient être élaborées par les constructeurs et mises à disposition des autorités sanitaires compétentes pour chaque type d'appareils. Ces fiches comprendraient des informations précises telles que le type d'habitat concerné, le seuil de coupure des appareils, le point de raccordement de l'appareil au réseau, pour combien de personnes il est utilisé, quelles sont les modalités d'entretiens en situation normale et en cas d'épidémies…

Ces fiches pourraient servir d'outils à la gestion locale du parc d'appareils par les DDASS par exemple. Ainsi en cas d'épidémies des recommandations techniques seraient disponibles pour les établissements qui possèdent des systèmes individuels de traitement. Elles pourraient leur être transmises par courriers, par messages téléphoniques ou télévisuels.

Enfin, il convient de revoir l'évaluation de l'efficacité des différents appareils de traitement à retenir et/ou inactiver *Cryptosporidium* pour leur mise en vente sur le marché. Dans ce cadre, l'élaboration d'un protocole pour valider l'efficacité des appareils paraît indispensable.

CONCLUSION

Les épidémies de cryptosporidiose constituent un enjeu sanitaire émergent dans le monde. La France n'est pas épargnée comme le prouvent les épidémies survenues récemment à Sètes, Dracy-le-Fort et Divonnes-lès-Bains. Celles-ci ont soulevé de nombreuses questions auxquelles l'Afssa et les autorités sanitaires s'attèlent à répondre. Parmi ces problématiques l'épidémie de Divonnes-les-Bains a posé le problème du risque lié à la contamination des installations de traitement d'eau privées et collectives et des générateurs d'eau chaude. Ce mémoire constitue une base de réflexion pour répondre à cette question.

A l'issue de l'évaluation qualitative il ressort que certains systèmes de traitements, en particuliers les procédés de filtration et les résines échangeuses d'ions, peuvent générer des risques pour la santé de la population.

Lors d'une contamination du réseau d'eau par *Cryptosporidium* les résines échangeuses d'ions et les procédés de filtration pourraient retenir les oocystes. Cette rétention serait de 2 types : mécanique, basée sur la taille de l'oocystes (4 à 6 µm), ou biologique *via* une rétention au niveau du biofilm.

La rétention mécanique et biologique concernerait : les procédés d'osmose inverse, les résines échangeuses d'ions, les filtres mécaniques et certains filtres à charbon actifs. La rétention des oocystes serait partielle ou totale selon la taille des pores des appareils de filtration utilisés (diamètre > ou < à 1µm).

Que la rétention soit mécanique ou biologique et dans le cas où les filtres et les résines ne seraient pas changés après la survenue de l'épidémie, le risque de ces appareils consisterait en un relargage massif des oocystes dans le réseau lors d'un retour d'eau. En outre, l'accumulation des oocystes sur les supports filtrant pourrait conduire à terme à un relargage au niveau du robinet du consommateur.

En ce qui concerne les autres procédés de traitements de l'eau le risque sanitaire semble plus faible. En effet les systèmes à rayons UV vont, dans la mesure où la dose d'irradiation est de 400 J/m^2, inactiver les oocystes. Les appareils anti-tartres et les traitements filmogène n'auraient, *a priori*, pas d'effet sur *Cryptosporidium* et les distillateurs détruiraient les oocystes du fait de la température de l'eau à l'intérieur de ces appareils (100°C). Quant aux générateurs d'eau chaude sanitaire, bien qu'on puisse penser que les oocystes puissent s'accumuler dans les dépôts de calcaire, le risque sanitaire semble faible. En effet, d'après les experts, les oocystes sont détruits si les températures et les temps de chauffe sont suffisants dans les générateurs d'eau chaude (65°C pendant 5 minutes).

Bien que le risque sanitaire lié aux appareils de traitements de l'eau et aux générateurs d'eau chaude ne soit pas confirmé par des études scientifiques, on peut, sur la base de l'analyse qualitative réalisée, établir des recommandations de gestion pour les populations sensibles ou non. Parmi ces recommandations on retiendra celles concernant le changement des cartouches filtrantes et des résines une fois l'épidémie finie et celle relative à la vidange des les générateurs d'eau chaude.

Ce mémoire propose une piste de réflexion pour l'analyse du risque sanitaire lié aux traitements individuels et collectifs et aux générateurs d'eau chaude lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*. Un certain nombre d'éléments manquent pour évaluer quantitativement ce risque, notamment le niveau de concentrations en oocystes dans l'eau en France. Si on connaissait la concentration en oocystes de l'eau traitée on pourrait estimer la concentration en oocystes susceptible d'arriver aux différents appareils. Ainsi le risque lié aux appareils de traitement renvoie-t-il au problème du niveau

de contamination de l'eau du réseau. Or les données relatives à la contamination de l'eau en France par *Cryptosporidium* sont peu nombreuses.

On remarquera que des concentrations en oocystes entre 0,01 et 0,8 oocystes/L (gamme proposée dans la partie 1 du mémoire) dans l'eau traitée peuvent entraîner la survenue d'épidémie.

En matière de législation vaudrait-il mieux certifier des appareils contre le risque *Cryptosporidium* ou fixer un seuil à ne pas dépasser pour ce parasite pour l'eau traitée? Une évaluation de la qualité des ressources en eau vis-à-vis de *Cryptosporidium* associée à une évaluation de l'efficacité des installations de traitement ne permettrait-elle pas de mieux gérer le risque de cryptosporidiose ? L'ensemble des problèmes met en avant la nécessité d'une coopération entre les chercheurs, les distributeurs d'eau et les autorités sanitaires.

Bibliographie

1. ABBASZADEGAN M., HASAN M.N., GERBA C.P. *et al*. The disinfection efficacy of point-of-use water treatment system against bacterial, viral and protozoan waterborne pathogens. *Water Research*, 1997, volume 31, n°3, pp 574-582.

2. ADAHM S.S., JACANGELO J.G., LAINE J.M., TRUSSEL R.R., *Removal of Cryptosporidium parvum, Giardia muris bacteria and MS2 virus by slow pressure membrane processes. In "Workshop on Separation of Microorganisms from water and wastewater.* IAWQ-IWSA Joint Specialist Group on Particle Separation. Amsterdam, The Netherlands, edited by KJ Ives and H. Berhardt, 30 octobre-1 novembre 1995, pp 1-10.

3. ADDIS D.G., POND R.S., REMSHAK M. *et al*. Reduction of risk of watery diarrhea with point-of-use water filter during a massive outbreak of waterborne Cryptopsoridium infection in Milwaukee, Wisconin, 1993. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 1996, pp549-553.

4. ADEME. Guide pratique. La production d'eau chaude sanitaire et votre confort de vie. [en ligne]. [mis à jour le 6 juin 2004]. Disponibilité :<http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/3673/Chauffage03.html>

5. Afssa. *Evaluation du risque de contamination par des parasites d'eaux souterraines peu protégées utilisées pour la consommation humaine*, document interne non publié, séance du 15 juin 1999.

6. ALTHERTON F., NEWMAN C.P., CASEMORE D.P. An outbreak of waterborne cryptosporidiosis associated with public water supply in the UK. *Epidemiology Infectious,* 1995, volume 115, chapitre 1, pp 123-131.

7. ANAH Fiche technique 34. « eau chaude sanitaire ». [en ligne]. [consulté le 18 mai 2004]. Disponibilité :< http://www.anah.fr/pdf/Eau_chaude_sanitaire.pdf>

8. AQUALOGIE. Les appareils anti-tartre tiennent-ils leurs promesses ? *AQUALOGIE*, Mai 1991, n°3, pp 15-18.

9. AQUALOGIE. Les appareils de traitement mobiles. *AQUALOGIE*, Février 1993, n°7, pp 27-29.

10. ARDEN T., DARDEL F. *Opérations chimiques unitaires. Echange d'ions.* Extrait des cahiers Techniques de l'Ingénieur, J 2860-6.

11. BAKER H. In search of perfect water treatment method. *Wilderness and Environmental Medicine,* 2000, volume 11, pp 1-4.

12. BARER M.R. et WRIGHT A.E. *Cryptosporidium* and water. *Letter Applied Microbiology*, 1990, volume 11, pp 271-277.

13. BAUDIN I., GABARD N., BERNAZEAU F. *et al*. Suivi et optimisation des procédés de clarification pour l'élimination de Cryptosporidium. *Techniques Sciences Méthodes*, Décembre 2001, n°12, p42.

14. BEAUDEAU P., DEROUIN F., POUILLOT R. *et al*. *Rapport sur les Infections à protozoaires liées aux aliments et à l'eau : Evaluation scientifique des risques associés à Cryptosporidium* sp. Afssa, Maisons-Alfort, Septembre 2002, 185p.

15. BERLAND J.M. *Traitement individuel des eaux domestiques*. Technique de l'Ingénieur, traité Construction, Février 2002, C 3840, pp1-12.

16. BRAUD P. *Eau chaude sanitaire*. Technique de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, Novembre 1996, B9190.

17. BROWN E.A., CASEMORE D.P., GERKEN A. *et al.* Cryptosporidiosis in great Yarmouth-the investigation of an outbreak. *Public Health*. 1989, volume 103, chapitre 1, pp 3-9

18. BRUNEL D. *Les parasites Giardia et Cryptosporidium - Approche du risque sanitaire*. Mémoire de fin d'études pour le DESS environnement : Université de Caen Rouen, 1995. 52 p.

19. BUTLER B.J. et MAYFIELD C. I. *Cryptosporidium spp. A Review of the Organism, the Disease, and Implications for Managing Water Resources*. For Waterloo Center for groundwater Research. Waterloo, Ontario, Canada , Août 1996, 73 p.

20. CAMPBELL A.T., ROBERTSON L.J., SNOWBALL M.R. *et al*. Inactavivation of oocysts of Cryptosporidium parvum by ultraviolet irradiation. *Water Research*, 1995, volume 29, chapitre 11, pp 2583-2586.

21. CARPENTIER B et MIDELET G. Impact of cleaning and disinfection agents on biofilm structure and on microbial transfer to a solid model food. *Journal Applied Microbiology*, 2004, volume 97, pp 262-270.

22. CARPENTIER B. Biofilms en industrie agro-alimentaire. *Revue générale du FROID*, novembre 2002, n°1028, pp23-26.

23. CARPENTIER B. et CERF O. *BIOFILMS*. In *Encyclopedia of Food Microbiology*, 1999, volume 1, pp. 252-259. London. Edition Robinson, R.K., Batt, C.A. and Patel, P.D. Academic Press.

24. CARPENTIER B. et CHASSAING D. *Activité nettoyante de différents produits sur des surfaces colonisées par un biofilm*. Colloque SFM, Actualités en microbiologie des aliments, Paris, 21-22 mars 1996.

25. CARPENTIER B. et MIDELET G. Transfer of Microorganismes, Including Listeria monocytogenes, from various materials to Beef. *Applied and Environmental Microbiology.* Août 2002, volume 68, n°8, pp 4015-4024.

26. CARPENTIER B., KOBILINSKI A., CHASSAING D. Biofilms : outils pour l'étude de nettoyabilité des surfaces utilisées dans l'industrie agro-alimentaire. *Document AFSSA non publié*, version du 22 novembre 1993.

27. CDC. Epidemiologic Notes and Reports Swimming-Associated Cryptosporidiosis -- Los Angeles County. *WEEKLY, MMR,* 25 mai 1995, volume 39, chapitre 20, pp 343-345.

28. CDC. Cryptosporidiosis outbreak in Ireland linked to public water supply. *Eurosurveillance Weekly*, *MMR,* Jeudi 30 mai 2002, volume 6, Issue 2.

29. CHAPPEL C., DAVISON A., DEERE D. *et al*. *Who guidelines for drinking Water Quality. Microbial Environmental Health Criteria-Cryptosporidium*. Projet 2, version 26 février 2003. 79 p.

30. CHARRON G. Canada: une deuxième ville rurale voit son réseau de distribution d'eau potable contaminé. *Canada Communicable Disease.* 13 mai 2001, Rapport, Volume 25, revue n° 22, pp185-92.

31. CHAURET C., CHEN P., SPRINGTHORPE S. *et al*. Effect of environmental stressors on the survival of *Cryptosporidium* oocysts. Proc. American Water Works Association. Water Quality Technolology. Conférence Novembre 1995. pp. 1567-1585

32. CLAVEL A. OLIVARES J.L., FLETA J. *et al*. Seasonality of cryptodporidiosis in children. *European Journal of Clinical Microbiology and infection Diseases*, 1996, volume 15, pp 77-79.

33. CRETAL R. La protection de la distribution d'eau chaude sanitaire. *Aqualogie*. Octobre 1991, n°4, pp 11-14.

34. DARI K. *Rapport d'activité 2003. Alimentation en eau*. AFNOR, 18 mars 2004.

35. DATRY A., SAFARTI C., DEROUIN F. *L'eau, la santé et l'environnement (symposium international)*, Rennes, France.

36. DDASS de Seine-Maritime (service Santé - environnement). Recherche d'oocystes de Cryptosporidium et kystes de Giardia sur l'eau traitée de 16 stations de pompage et de potabilisation de la Seine-Maritime.- Rouen. *Qualité de l'eau distribuée, parasitologie, Eure, Seine-Maritime* 1996, 11 p + annexes.

37. DGS Circulaire n°99/360 du 21 juin 1999 relative aux appareils de traitement des eaux destinées à la consommation humaines au robinet.

38. DI PALMA M., CARBONEL S., BEAUDEAU P. *et al*. *Epidémie de gastro-entérite à cryptosporidium. Dracy-le-Fort, Saône et Loire (71)*. InVS. Septembe 2001.

39. DORON M. *Cryptosporidium dans l'environnement aquatique : conséquence pour les eaux de distribution*. Synthèse bibliographique. Office Internationale de l'Eau, Février 2000.

40. DRINKING WATER INSPECTORATE. Removal of oocysts of Cryptosporidium from private water supplies-Assessment of point-of-use filters final report to the Department of Environment. *Water Research Center*, 1996.

41. DROZD C. *Comportement de Cryptosporidium spp dans l'eau: conséquences au niveau de l'ultrafiltration tangentielle*. Thèse de 3ème cycle. Université de Nancy, 1996.

42. DROZD C., BONVILLE M.C., LAHOUSSINE TURCAUD V., SCHWARTZBROD J., *Méthodes de détection de Cryptosporidium dans l'eau : revue et application au laboratoire. Journal Français d'Hydrologie*, volume 24, n° 2, pp 173-190.

43. DUPONT H.L., CHAPELL C.L., STERLING C.R. *et a*l. The infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers. *The New England Journal of Medicine*, 1995, volume 332, pp 855-859.

44. DWORKIN M.S., GOLDMAN D.P., WELLS T.G. *et al*. Cryptosporidiosis in Washington State: an outbreak associated with well water. *Journal Infectious Diseases*, Décembre 1996, volume 174, chapitre 6, pp 1372-1376.

45. FAYER R. Effect of high temperature on infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water. *Applied and Environmental Microbiology*, 1994, volume 60, pp 2732-2732.

46. FLANIGAN T.P. Human immunodeficiency virus infection and cryptosporidiosis: protective immune responses. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1994, volume 50, pp 29-35.

47. FOGEL D., ISAAC-RENTON J., GUASPARINI R. *et al*. Removing Giardia and Cryptosporidium by slow sand filtration. *Journal of American Water Works Association*, November 1993, pp 77-84.

48. FREISE SANTOS F., LOPEZ O., VERGARA-CASTIBLANCO C.A. *et al*. Effect of salinity, temperature and storage time on mouse experimental infection by Cryptosporium parvum. *Veterinary Parasitology, volume* 87, n°199, pp 1-7. Edition ELSEVIER.

49. FROST F.J., FEA E., GILLI G. *et al*. Serological evidence of Cryptosporidium infections in southern Europe. *European Journal of Epidemiology*, 2000, volume 16, pp 385-390.

50. FROST T. European Water treatment: equipment standards-harmony or Discord ? [en ligne]. *AQUATECH 2000 Preview*, [consulté le 17/06/2004]. Disponibilité : <http://www.wcp.net/archive/sep00spot.htm>

51. FURTADO C., ADACK G.K., STUART J.M. *et al*. Outbreaks of waterborne infectious intestinal disease in England and Wales.1992-1995. *Epidemiology and Infection,* volume 121, pp 109-119.

52. GEORGELIN M. Les traitements contre le tartre par dosage. *AQUALOGIE*, Décembre 1997, n°22, pp 14-15.

53. GIRARDEAU-MONTAUT D., GRUAZ J. et SESSIECQ P. Mines INPL NANCY. [en ligne]. [mise à jour 25/09/2002]. Disponibilité : <http://www.mines.inpl-nancy.fr/wwwenv/lexiques/lexique_eau.htm>

54. GOFTI-LAROCHE L. *Evaluation du risque microbiologique hydrique : validation épidémiologique des fonctions doses réponse du risque viral et parasitaire*. Etude E.M.I.R.A.. Université Joseph Fourier-Grenoble I. Faculté de médecine, 5 juin 2001. 190 p.

55. GOFTI-LAROCHE L., SCHMITT M. *Epidémie de gastro-entérites liée à la pollution du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Divonne-les-Bains.* CIRE Rhône-Alpes-Auvergne, Août-Septembe 2003.

56. GÓMEZ-SUÁREZ, C., BUSSCHER, H.J., VAN DER MEI, H.C., 2001. *Analysis of bacterial detachment from substratum surfaces by the passage of air-liquid interfaces*. *Applied Environmental Microbiology*, volume 67, pp 2531-2537.

57. GRABOWSKI D.J. *et al*. Cryptosporidiosis-New Mexico, 1986. *MMWR*, 28 Août 1987, volume 36, n° 33, pp 561-563. [consulté le 7 juillet 2004]. Disponibilité: <http://www.cdc.gov/epo/mmwrhtml/00000962.htm>

58. HAAS C.N., ROSE J.B. Developping an action level for Cryptosporidium. *Journal of American Water Works Association*, Septembre 1995, volume 87, pp 81-83.

59. HARGY T.M. Ultraviolet found be effective against Cryptosporidium. *Water Technology*, September 1999, pp63-67.

60. HAYES E.B., MATTE T.D., O'BRIEN T.R. *et al*. Large community outbreak of cryptosporidiosis due to contamination of a filtered public water supply. *The New England Journal of Medicine*. 25 mai 1989, volume 320, pp 1372-1376.

61. HIRATA T. et HASHIMOTO A. Experimental assesment of the efficacity of microfiltration and ultrafiltration for Cryptosporidium removal. *Water Science and Technology.* 1998, volume 38, chapitre 12, pp 103-107.

62. HODIAUMONT A., dr. MEHEUS J. A.W.W., PEETERS P *et al*. *Le traitement d'eau domestique* [en ligne]. BELGAQUA, Février 2004. [consulté le 15 mai 2004]. Disponibilité: <http://www.belgaqua.be/document/traitem.pdf>

63. HOWE, A.D., FORSTER, S., MORTON, S. *et al*.. Cryptosporidium oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerging Infectious Diseases*, 2002, volume 8, pp 619-624.

64. HOYER O. Testing performance and monitoring of UV systems for drinking water disinfection. *Water Supply*, 1998, n°16, pp 424-429.

65. HUNTER P.R., QUIGLEY C. Investigation of an outbreak of cryptosporidiosis associated with treated surface water finds limits to the values of case control studies. *Communicable Disease Public Health*, 1998, volume 1, chapitre 4, pp234-238.

66. ICMSF, 2002. *Sampling to assess control of the environment. In Microorganisms in foods 7.* Microbial Testing in Food safety Management. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp 199-224.

67. INSPQ, GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU. *Cryptosporidium. Fiches Synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut National de Santé Publique du Québec, 2003, 9 p.

68. INUNGU J.N., MORSE A.A. et GORDON C. Risk factors, seasonality, and trends of cryptosporidiosis among patients infected with human immunodeficiency virus. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 2000, volume 62, pp 384-387

69. ISAAC-RENTON J., BLATHERWICK J., BOWIE W.R. *et al*. Epidemic et endemic seroprevalence of antibodies to Cryptosporidium and Giardia in residents of three communities with different drinking water supplies. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1999, volume 60, pp 578-583.

70. JACANGELO J.G., ADAHM S.S.,.LAINE J.M. Cryptosporidium parvum, Giardia and MS2 virus removal by MF and UF. *Journal of American Water Works Association*, 1995, n° 87, pp 107-121.

71. JOCE R.E., BRUCE J., KIELY D. *et a*l. An outbreak of cryptosporidiosis associated with a swimming pool. *Epidemiology Infectious*, 1991, volume 107, pp 497-508.

72. JOSEPH C., NICHOLAS S., MARSHALL R. et al. Cryptosporidiosis in the isle of Thanet; an outbreak associated with local drinking water. PHLS Communicable Disease Surveillance Center, London. *Epidem. Infect.,* Décembre 1991 ; volume 107, n° 3, pp 509-519.

73. KARANIS P., SCHOENEN D. et SEITZ H.M. Distribution and removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies in Germany. *Water Science and Technology*, 1998, volume 37, n°2, pp 9-18.

74. KORICH D.G., MEAD J.R., MANDORE M.S. *et al.* Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine and monochloramine on Cryptosporidium oocysts viability. *Applied Environmental Microbiology,* 1990, n°56, pp 1423-1428.

75. KUROKI T., WANTANABE Y., ASAI Y., *et al.* An outbreak of waterborne Cryptosporidiosis in Kanagawa, Japan. *Kansenshogaku Zasshi*, 1996, volume 70, chapitre 2, pp 132-140.

76. LECHEVALLIER M.W., NORTON W.D. et LEE R.G.. Giardia and Cryptosporidium spp. in filtered drinking water supplies. *Applied and Environmental Microbiology, 1991*, volume 57, pp 2617-2621.

77. LECHEVALLIER, M.W., NORTON, W.D. et LEE, R.G. Occurrence of Giardia and Cryptosporidium spp. in surface water supplies. *Applied and Environmental Microbiology*,1991, volume 57, pp 2610-2616.

78. LEMMON J.M., MCANULTY J. M. et BAWDEN-SMITH J. Outbreak of cryptosporidiosis linked to an indoor swimming pool. *Medical Journal of Australia*, 1996, volume 165, p 613.

79. LESNE J. Cryptosporidiose et usage de l'eau : point sur le risque sanitaire. *Techniques Sciences Méthodes*, Décembre 2001, n°12, pp 25-31.

80. LORENZO-LORENZO M.J., AERES-MANZAS M.E., VILLACORTA-MARTINEZ de MATURANA *et al.* Effect of ultraviolet disinfection of drinking water on the viability of Cryptosporidium parvum oocysts. Journal of Parasitology, n°79, pp 67-70.

81. MAGUIRE H.C., HOLMES E., HOLLYER J. *et al*. An outbreak of cryptosporidiosis in south London: what value the p value? *Epimeliogy Infectious*. 1995, volume 115, chapitre 2, pp 279-87.

82. Mc ANULTY J.M., FLEMING D.W., GONZALEZ A.H. A community-wide outbreak of cryptosporidiosis associated with swimming at wave pool. *Journal of the American Medical Association*, Novembre 1994, volume 272, pp 1597-1600.

83. Mc DONALD V., MC KENZIE W.R., ADDISS D.G. et al. Cryptosporidium parvum specific antibody responses among children residing in Milwaukee during the 1993 waterborne outbreak. Journal of Infectious Diseases, 2001, volume 183, pp 1373-1379.

84. MCE. Adoucisseurs, purificateurs, osmoseurs : faut-il traiter l'eau à domicile. Janvier 2003. [en ligne], document numérisé par le RESE. [consulté le 5/052004]. Disponibilité : <www.mce-info.org>

85. MEINHARDT, P.L., D.P. CASEMORE et K. B. MILLER. Epidemiological aspects of human cryptosporidiosis and the role of waterborne transmission. *Epidemiologic Reviews*, 1996, volume 18, pp 118-136.

86. MONTIEL A. *Elimination des protozoaires Cryptosporium et Giardia sous formes d'oocystes ou de kystes des eaux destinées à la consommation humaine*. Rapport CL-04. SAGEP Eaux de Paris, 2002.

87. MORIN R. *Lutte contre l'infection à Cryptosporidium parvum : application à la cryptosporidiose bovine.* Thèse vétérinaire: Ecole Vétérinaire de Nantes, 2002. 233 p.

88. MOULTON-HANCOCK C., ROSE J.B.,. VASCONCELOS *et al*. Giardia and Cryptosporidium occurrence in groundwater. *Journal of American Water Works Association*, 2000. volume 92, n°9, pp 117-123.

89. OKHUYSEN P.C., CHAPELL C.L., STERLING C.R. *et al*. Susceptibility and serologic response of healthy adults to reinfection with Cryptosporidium parvum. *Infection and Immunity*, 1998, volume 66, pp 441-443.

90. OMS. Water, Sanitation and Health Department of Protection of the Human Environment World Health Organization, Geneva. Managing Water in the home: Accelerated health gains from Improved Water Supply, 2002.

91. OZONE.ch. Filtration à charbon actif. [en ligne]. [consulté le 12/07/2004]. Disponibilité :<http://www.ozone.ch/gasandwater/filtres/cartouches/charbonactif.htm>

92. PARKER J.F., GREAVES G.F. et SMITH H.V. The effect of ozone on the viability of Cryptosporidium parvum oocysts and comparaison of experimental methods. *Water Science Technique*, 1993, n°27, pp 93-96

93. PEETERS J.E., ARES-MANZAS M.E., MASSCHELEIN W.J. *et al*. Effect of disinfection of drinking water with ozone or chlorine dioxide on survival of Cryptosporidium oocysts. *Applied Environmental Microbiology*, 1989, n°55, pp 1519-1522.

94. PENAUD D. et CARPENTIER B. Evaluation des populations et forces d'adhésion de la totalité des cellules microbiennes présentes sur un revêtement de sol en restauration collective. Afssa.

95. PERCIVAL S.L., WALKER J.T., HUNTER P.R. *Microbiological aspects of biofilms and drinking water*. Boca Raton (FL): *CRC, Press 2000*, 229 p.

96. PIPELINE newsletter. *Water system Training Course: Waterborne Diseases*. Adaptation of Laurence FOSTER's article 1985 written for the PIPELINE newsletter. Oregon Health Division, Drinking Water Program. Portland, Oregon, volume 1, n°4, pp 1-3. [en ligne].[consulté le 23/06/2004]. Disponibilité: <http://www.dhs.state.or.us/publichealth/dwp/docs/wstc/disease.pdf>

97. POLYTEC ENVIRONNEMENT. GENERATEUR UVC POLYTEC. Filtres charbon actif BLOC & Granules. [en ligne]. [consulté le 21/07/2004] Disponibilité : <http://www.polytecenvironnement.com/catalogue_filtres_uvc_fontaines/generateur_uvc_filtration_45_%20to_58.PDF>

98. RANSOM M.E., WITHMORE T.N. et CARRINGTON E.G. *Effect of disinfectants on the viability of Cryptosporidium parvum*. *Water Supply* 11, Amsterdam, 1993, pp.75-89

99. RATEL M.O. Elimination des nitrates des eaux potables. Document technique, Fond national pour le Développement des Adductions d'Eau, hors série n°4. Office International de l'Eau. [en ligne]. [consulté le 12/07/2004]. Disponibilité : <http://www.oieau.org/eaudoc/pdf/ELIMINATION%20NITRATES_version%205.pdf>

100. RAVN P., D LUNDGREN J., KJAELDGAARD P. *et al*. Nosocomial outbreak of cryptosporidiosis in AIDS patients. *British Medical Journal*, 1991, volume 302, pp 277-280.

101. REGAN J, et Mc VAY R. *Outbreak of cryptosporidiosis at a Day Camp-Florida-July-August* 1995.*MMWR, CDC*, 31 mai 1996, volume 45, n°21, pp 442-444.

102. REISIG J., WALKER M., SWEENEY M. Cryptosporidium and Giardia: Waterborne parasites. Université du Nevada, juillet 2004.

103. RESEAU DEPARTEMENTAL D'HYGIENE HOSPITALIERE DE LOZERE. *Prévention de la légionellose synthèse de l'état des lieux sur la gestion du risque de légionellose dans les établissements d'accueil pour personnes âgées dépendantes de Lozère*. [en ligne], document numérisé par le RESE, Décembre 2003.

104. ROBERTSON J. et EDBERG S. Protecting natural spring and well drinking water sources from microbial contamination. *Hydrogeologic*, 25 avril 1996, pp27-33.

105. ROBERTSON L.J., CAMPBELL A.T. ET SMITH H.V. Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts under various environmental pressures. *Applied and Environmental Microbiology*, 1992, volume 58, pp 3494-3500.

106. ROGERS J. et KEEVIL C.W. *Survival of Cryptosporidium parvum oocysts in aquatic biofilm. In Protozoal parasites in water*. Royal society of chemistry, 1995, London, Thompson C. et Fricker C., p 209.

107. ROSE J.B. et al Detection of Cryptosporidium from wasewater and freshwater environments. *Water Science and Technology*., 1986, volume 18, n°10, p 233.

108. ROSE J.B., GERBA C.P., et JAKUBOWSKI W. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Science Technology*, 1991, volume 25, pp 1393-1400.

109. RUSSEL F., WALKER Jr et JERY R. STEDINGER. Fate and transport model of cryptosporidium. *Journal of Environmental Engineering*, Avril 1999, pp 325-333.

110. SANTE CANADA, sous comité fédéral-provincial sur l'eau potable. *Les protozoaires dans l'eau potable,* Juillet 1997.

111. SANTE CANADA. Dispositifs de traitement de l'eau pour l'élimination du goût, de l'odeur et des substances chimiques. [modifié le 23/06/2003]. Disponibilité :< Dispositifs de traitement de l'eau pour l'élimination du goût, de l'odeur et des substances chimiques.htm>

112. SAOUT C., HARTMAN P., HERAULT S. *et al*. *Evolution de la réglementation et amélioration de la sécurité sanitaire des eaux destinées a l'alimentation.* [en ligne]. [consulté le 15/06/ 2004], document numérisé par le RESE.

113. SCHULER F.P. GHOSH MM et GOPALAN P. Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates. *Water Research*, 1991, volume 25, pp 995-1005.

114. SENAT. Les procédés de traitement à domicile. Annexe 75, [en ligne]. [consulté le 13/07/2004]. Disponibilité :<http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-272.html>

115. SERVICE SANTE ENVIRONNEMENT ET DE L'OBSERVATOIRE POPULATION HABITAT. Ville du Havre, *Les Havrais et l'environnement*. Rapport, 1993, 34 p.

116. SMITH H.V., SMITH A.L., GIRDWOOD R.W.A. *et al*. The effect of the free chlorine on the viability of cryptosporium ssp.oocysts. *Water Research Center*. England: Medmenham. Wrc publication PRU 2023-M, 1989.

117. SOUTER P., CRUICKSHANK G.D., TANKERVILLE M.Z. *et al*. Evaluation of a new water treatment for point-of-use household applications to remove microorganisms and arsenic from drinking water. Journal of Water and Health, 2003, pp 73-84.

118. STERLING C.R. et MARSHALL M.M. Cryptosporidium parvum. Waterborne Pathogene. *American Water Work Association*, 1999, Manuel 48, p159-162.

119. STOODLEY, P., WILSON, S., HALL-STOODLEY, L. *et al*. Growth and detachment of cell clusters from mature mixed-species biofilms. *Applied Environmental Microbiology*, 2001, volume 67, pp 5608-5613.

120. SUNDKVIST T., DRYDEN M., GABB R. *et al*. Outbreak of cryptosporidiosis associated with a swimming pool in Andover. *Communicable Disease Report*, CDR Rev.1997. 14, volume 7, n°12: R 190-192.

121. TIMMS S., SLADE J.S., FRICKER C.R. Removal of Cryptosporidium by slow sand filtration. *Water Science Research*, volume 31, chapitres 5-6, pp 81-84.

122. TURAKHIA, M.H., COOKSEY, K.E., CHARACKLIS, W.G. Influence of calcium-specific chelatant on biofilm removal. *Applied and Environmental Microbiology*, 1983, volume 46, pp 1236-1238.

123. UNION DES ENTREPRISES D'AFFINAGE DE L'EAU. *Principaux résultats statistiques sur l'évolution en France du marché des équipements fixes de traitement de l'eau au point d'utilisation domestique*. Document fourni par AGENCE DE L'EAU RHIN MEUSE, document n°23555D.

124. *US EPA. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule*. Federal Register: 10 Avril 2000, Volume 65, n° 69, pp 19052-19054. Disponibilité:<http://www.epa.gov/EPA-WATER/2000/April/Day-10/w8155a.htm>

125. WALLIS P.M. et al. Prevalence of Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts and characterization of Giardia spp. isolated from drinking water in Canada. *Applied Environmental Microbiology*, 1996, volume 62, pp 2789-2797.

126. WILLOCKS L., CRAMPIN A., MILNE L. *et al*. A large outbreak of cryptosporidiosis associated with a public water supply from a deep chalk borehole. Outbreak investigation team. *Communicable Disease Public Health*, Décembre 1998, volume 1, n°4, pp 239-243.

127. WIMPENNY, J., MANZ, W., SZEWZYK, U. *Heterogeneity in biofilms*. FEMS Microbiology, 2000, revue 24, pp 661-671.

128. ZU S.X., LI J.F., BARETT L.J. *et al*. Seroepidemiologic study of Cryptosporidium infection in children from rural communities of Anhui, China and Fortaleza, Brazil. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 1994, volume 55, pp 1-10.

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Cycle de vie de *Cryptosporidium.*

ANNEXE 2: Causes d'épidémies de cryptosporidiose.

ANNEXE 3: Principales épidémies recensées liées à l'eau.

ANNEXE 4 : Concentration en oocystes de *Cryptosporidium* retrouvées dans l'eau.

ANNEXE 5 : Concentrations en oocystes dans l'eau lors d'épidémies.

ANNEXE 6 : Mode de production d'ECS.

ANNEXE 7 : Norme NSF 53.

ANNEXE 8 : Tableaux relatifs à l'efficacité des traitements de désinfection en station de potabilisation vis-à-vis de *Cryptosporidium.*

ANNEXE 9 : Questionnaire pour l'évaluation du risque sanitaire lié aux traitements individuels et collectifs et des préparateurs d'eau chaude sanitaire lors d'une contamination du réseau par Cryptosporidium.
Interviews de M. SEUX, Mme CARPENTIER, M. MONTIEL et M. DEROUIN.

ANNEXE 1 : CYCLE DE VIE DE CRYPTOSPORIDIUM

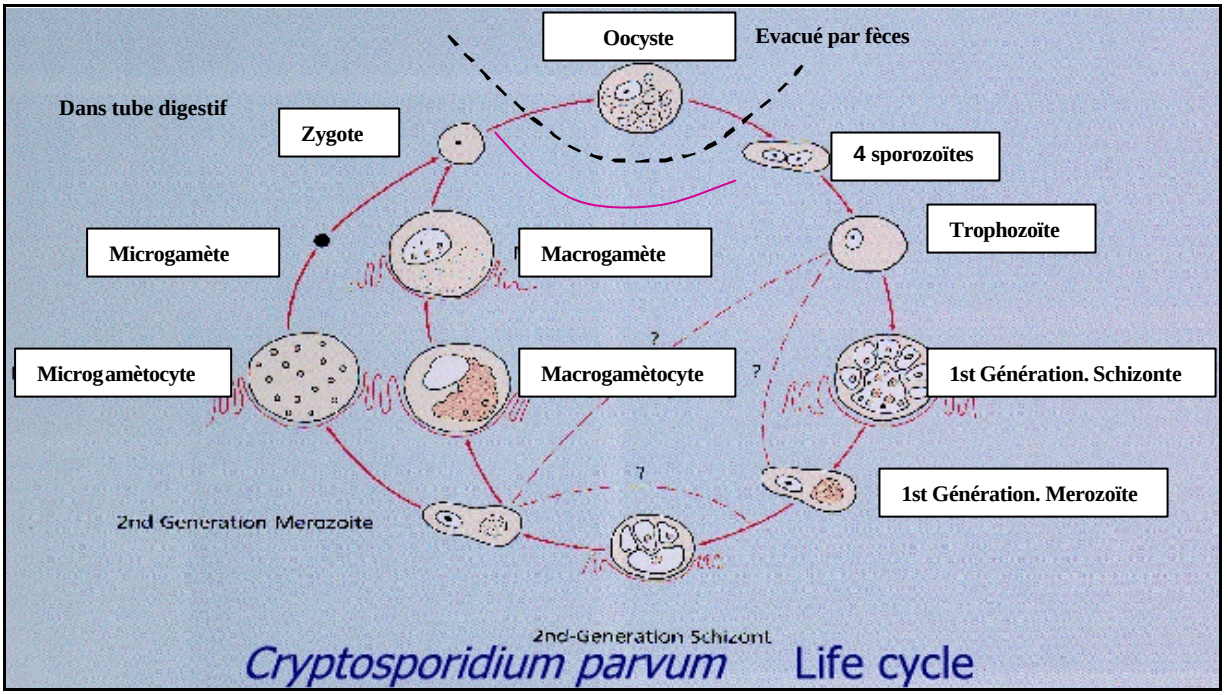

Figure 2 : Cycle de vie de *Cryptosporidium*

ANNEXE 2 : CAUSES D'EPIDEMIES DE CRYPTOSPORIDIOSE

Tableau 1 : Tableau de synthèse des principales causes d'épidémie

	Défaillance	Commentaires
Captage/ressource en eau	Des sources de fortes contamination ont été retrouvées près des service de traitement des eaux.	Aucune barrière de protection n'étaient en place pour éviter l'introduction d'oocystes dans l'eau pendant les période de fortes eaux.
	Origine de la présence de *Cryptosporidium* inconnue dans les captages avant l'épidémie.	Des connaissances sur la source productrice de *Cryptosporidium* devraient faciliter la diminution du risque.
	Les évènements naturels peuvent conduire à un transport des oocystes des champs par ruissellement par exemple vers les eaux réceptrices.	Les fortes pluies peuvent permmettre le transport des oocystes vers les cours d'eau situés en amont de la station de traitement.
	L'eau captée était localisée dans la partie du bassin versant vulnérable aux contamination.	Des connaissances sur le cycle de l'eau, la contamination de la ressources et le transport hydrodynamique devrait permettre de sélectionner le site de captage.
Traitement-eau de surface	Défaillance du contrôle des équipements pour l'optimisation de la filtration lors des périodes de changement rapides de ressources en eau.	Les équipement étaient mal installés, peu entretenus, à l'arrêt, non opérationnel ou de manière temporaire.
	Les équipements de contrôles étaient non opérationnels ou défectueux du fait du manque de maintenance de la part de du personnel de la station de traitement.	La défaillance des équipements n'étaient pas compenser pas d'autres moyens de surveillance ou des fréquences plus importantes de surveillance.
	Les eaux de lavage des filtres étaient retournés en tête de station.	Ce procédé peut conduire à une concentration d'oocystes, qui peuvent être remis dans l'eau lors d'un arrêt de la filtration lorsque le filtre est percé.
	Le procédé de filtration était inadéquat ou altéré.	Pendant des périodes de forte turbidité, des systèmes de filtration altérés ou non optimum peuvent conduire à des pointe de turbidité et des niveau élevé en turbidité dans l'eau traitée
	Les filtres ne sont pas rétrolavés de manière adéquate.	Départ lent pour le lavage des filtres. Filtres supplémentaires pour éviter le perçage.
	L'étape de filtration a été by passée lors des débit d'entrée trop importants	Il est évident que by passer la filtration sans ajouter d'autres barrières de protection peut conduire à une contamination de l'eau potable.
	Absence de filtration.	La filtration est essentiel pour réduire la concentration en oocystes dans l'eau.
Eaux souterraines	Sources influencées par l'eau de surface	Une infiltration rapide d'eau de surface durant les orages conduit à des transports rapides d'oocystes des eaux de surface vers les eaux souterraines, conduisant à des pointe de contamination dans l'eau captée. Des traitements supplémentaires ou un changement de ressource pourrait être nécessaire.
	Sources contaminées par des infiltrations d'eaux usées, d'effluents de fosses septiques, d'effluents d'irrigation et de fumier.	Des zones de protections autours de ces sources sont nécessaires pour prévenir ce type de contamination
Système de distribution	Retour d'eau	Aucune prévention des retours d'eaux pourrait conduire à un retours d'eau des toilettes.
	Infiltration d'eaux usées ou de fumier dans le réseau	Le réseau de distribution est altéré pendant la construction ou les réparations d'où l'apparition possible de fuites qui pourraient permettre une infiltration de contaminants dans l'eau distribuée.
	L'ouverture de réservoirs de stockage	La probabilisé de contamination fécale de l'eau distribuée est grande lors de l'ouverture des réservoirs.

ANNEXE 3 : PRINCIPALES EPIDEMIES RECENSEES LIEES A L'EAU

Tableau 2 : Tableaux des principales épidémies recensées liées à *Cryptosporidium*

Date	Localisation	Cause suspectée	Nombre de cas	Type de systeme/ Traitement	Ressource	Références
1984	Braun station Texas Etats Unis	Eaux usées contaminant l'eau d'un puits (1er cas documenté d'épidémie liée à Cryptosporidium)	2006 cas confirmés	Chloration	Puits Eaux souterraines	D'antonio et al, 1985 [79], [14]
1986	New Mexico Etats Unis	Eau de surface contaminée, Cause inconnue,	78 cas confirmés	Pas de traitement		Grabowski DJ.& al, 1987 [57]
1986	Sheffield Grande Bretagne	contamination de l'eau par des fèces de bovins lors d'un orage	84 cas		Eau de surface	Lisle and Rose, 1995 [19]
1986	Great yarmouth and Waveney Grande Bretagne		36 cas			[17]
1987	Carrollton Georgia Etats Unis	Défaillance de floculation	12 960 cas	Clarification/ F.A.S./ Chloration	Rivière	Hayes et al, 1989 [58], [79], [60]
1988	Los angeles Californie Etats Unis	Filtre de piscine de terre de diatomées non opérationnel	44 cas confirmés	Filtration/chloration		[27]
1988	Yorkshire Grande Bretagne	Fuite de toilettes publiques dans un complexe aquatique	62 cas confirmés			Barer et Wright, 1990 [79]
1988	Doncaster Grande Bretagne	Eau de piscine contaminée par des eaux usées; défaillance de plomberie.	67 cas	Chloration		joce et al, 1991 [71]
1988	Ayrshire Grande Bretagne	Infiltration d'eau contaminée dans l'eau du réservoir de distribution	27 cas confirmés	Chloration	Eau de surface	Smith et al, 1988 [58], [79]
1989	Wiltshire and Oxfordshire Grande Bretagne	Défaillance traitement.	516 cas	Clarification/F.A.S./ chloration	Eau de rivière	Richardson AJ et al [58]
1989	Hvidovre Danemark	Contamination d'une machine à glace par un patient HIV+ et Cryptosporidium+. Contmination par main sale	17 cas			RAVN et al, 1991 [100]
1990	Ile de Thanet Grande Bretagne	Contamination de l'eau de surface, utilisée en complément de l'eau souterraine	47 cas		Eau de surface (+Eau souterraine normalement)	[72]
1990	Loch Lomond Grande Bretagne	Défaillance traitement	442 cas confirmés		Lac (loch)	Barer et Wright, 1990 [58], [79]
1991	Sud de Londres	Cause inconnue. Eau de distribution contaminée, pas de défaillance de traitement ni d'analyses non conformes	44 cas			Maguire HC et al,1995 [81]
1991	Berks County Pennsylvanie Etats Unis	Eau souterraine en contact avec de l'eau de surface	551 cas confirmés	Chloration	Forage (eaux souterraines)	Moore et al, 1993 [79]
1992	Jackson County Orégon Etats Unis	Traitement de l'eau défaillant	15000 cas	Chloration/filtration	Source/rivière	Moore et al, 1993 [79], [124]
1992	Lane County Orégon Etats Unis	Présence oocystes dans les eaux de lavages de filtres d'une piscine à vagues	55 cas	F.A.S./chloration		[82]
1992	Talent Orégon Etats Unis	Filtration inadéquate, Eqipement défaillant,	43 cas confirmés	Chloration/filtration	Eau de surface	[96], [124]
1992	Bradford Grande Bretagne	Pluies enregistrées au niveau de la ressource	125 cas			Altherton et al,1995 [6]
1992	Warrington Grande Bretagne	Durant un épisode pluvieux, des eaux souterraines sont entrées en contact avec de l'eau de surface qui avait drainé des fèces.	47 cas	F.A.S./ désinfection	Sources souterraines	Bridgman et al, 1997 [14]
1993	Milwaukee Wisconsin Etats Unis	Défaillance traitement. Modification du procédé de traitement.	404 000 malades 4 400 hospitalisés 69 décès	Clarification	Lac	CCN, 1997, 3(1) :1-2 [58], [79]
1993	Yakima Washington Etats Unis	Eau de ressource contaminée par des eaux de surface.	7 cas		Source privée souterraine	[124]
1993	Madison Wisconsin Etats Unis	Accident fécal dans une piscine				[96]
1993	Cook county Minnesota Etats Unis	Retour d'eau usées de toilettes de fosse septique	27 cas	Chloration/Filtration	Lac	[124]
1994	Lake Ummy Etats Unis	Lessivage du sol près des fosses septiques d'un camping	2070 cas confirmés		Lac	Kramer et al, 1998 [79]
1994	Missouri Etats Unis	Piscine contaminée	101 cas confirmés			Wilberscheid, 1995 [79]

Date	Localisation	Cause suspectée	Nombre de cas	Type de systeme/ Traitement	Ressource	Références
1994	Walla Walla Washington Etats Unis	Ressource contaminée par des eaux usées	104 cas confirmés	Pas de traitement	Forage	Dworkin et al, 1996 [79]
1994	Washington Etats Unis	Contaminationn de la ressource pas des eaux usées traitées	86 cas	Pas de traitement	Puits	Dworkin et al, 1996 [44]
1994	Hiratsuka Kanagawa Japon	Défaillance du sistème d'évacuation entrainant la contamination de l'eau potable par l'eau usée	461 cas		Puits	Kuroki Tet al,1996 [75]
1994	Sydney Australia	Contamination de l'eau de piscine par un baigneur infecté	70 cas	Filtration/chloration		Lemmond JM, 1996 [78]
1993-1994	Clark county Nevada Etats Unis	Aucun incident signalé, pas d'élévation de la turbidité et pas d'oocyste de cryptosporidium sp. retrouvé dans les eaux brutes ou traitées	101 cas confirmés (la plupart VIH+) 32 décès	Préchloration/filtration /chloration	Rivière/lac	Goldstein et al, 1996; Kramer et al, 1996 [14],[124]
1995	Nord Italie	Défaillance de traitement	294 cas confirmés		Rivière	CCN, 1997 Pozio et al, 1997 [79]
1995	Pays Bas	1ère épidémie détectée aux pays Bas	15 cas			Van Asperen et al, 1996 [14]
1995	Floride (camping) Etats Unis	Contamination de l'eau distribuée au niveau des robinets extérieurs par des déjections animales,	77 cas			Regan J, et Mc Vay R, [101]
1996	Wirral peninsula	Débordement des eaux de station d'épuration dans la rivière,	52 cas		Rivière	Hunter & Quigley,1998 [65]
1996	Hampshire Grande Bretagne	Contamination fécale de l'eau de piscine,	8 cas	F.A.S./chloration		sundkvist & al,1997 [120]
1996	Clovis CA	Eau récréative contaminée	500 cas confirmés			CCN, 1997 [79]
1996	Kellowna BC	Eau traitée contaminée	1136 cas confirmés			CCN, 1996 [79]
1996	Cranbrook BC	Eau traitée contaminée	2097 cas confirmés			CCN, 1996 [79]
1996	Ogose Japon	Eau traitée contaminée	9000 cas confirmés	Clarification	Source/forage	CCN, 1996 [79]
1997	Shoal lake Etats Unis	Eau traitée contaminée	100 cas confirmés	Chloration	Lac	CCN, 1997 [79]
1997	Minesota Zoo Etats Unis	Eau de la fontaine décorative contaminée, source de la contamination inconnue	300 cas confirmés	F.A.S./chloration	Fontaine	CCN, 1997 [79]
1997	Nord de la Tamises Grande bretagne	Eaux souterraines contaminées	345 cas	Filtration	Eaux souterraines forage, aqui.: craie	Willocks L & al [126]
1997	Three Valley Grande Bretagne	Ressource contaminée ozoneur en arrêt	366 cas confirmés	Ozonatio/ filtration sur CAG	Forage	CCN, 1997 [79]
1997	Grande Bretagne & Scotland	épidémies multiples et causes multiples	4 321 cas confirmés			CCN 1998 [79]
1997-1997	Australie	Piscine contaminée	1200 cas confirmés			CCN 1998 [79]
1997-1998	Nouvelle Zélande	Piscine contaminée	300 cas confirmés			CCN 1998 [79]
1998	New Mexico	Défaillance inconnue	32 cas	Système individuel	Puits	[102]
1998	Texas	traitement defaillant	1400 cas	Système communautaire	Puits	[102]
1998	Sète France	Captage contaminé par une rivière en crue. Cryptoposridium, identifié dans 17% des selles	150 enfants au min.			Guyonnet & Claudet, 2002 [14]
2000	Floride Etats Unis	Contamination du réseau de distribution	5 cas	Sytème communautaire	Puits	[102]
2000	Clitheroe Lancashire Grande Bretagne	Contamination des sources de Grindleton par des déjections animales	58 cas		Eaux souterraines	Howe AD & al, 2002 [63]
2001	North Battleford Canada	Désuétude du système de traitement des eaux usées, de l'usine d'eau potable et manque de formation du personnel en cause. Débordement des eaux usées vers la rivière.	>100 cas		Rivières de Saskatchewan Nord	[30]
2001	Dracy le Fort France	Défaillance des réseaux de distribution d'eau de la STEP.Contamination du réseau de distribution par des eaux usées	480 cas	Eau chlorée, Alimentations: gravitaire/ "refoulement" sous pression	Eau provenant de la nappe alluviale de la Saône,	InVS, P. Beaudeau & al, 2001 [38]
2002	Ireland	Contamination de la ressource par lessivage des sols. Champs agricoles (lisiers, fumier) entourant le lac	29 cas	Eau chlorée non filtrée	source alimentant un lac	Department of Public Health and Planning of the Midland Health Board, 2002 [28]
2003	Divonnes les bains France	Contamination par retour d'eau de la station d'épuration de l'eau distribuée (mauvaise connection d'un branchement)	800 cas	_2 sources gravitaires chlorées _ressource p^{ale}: captage Coag/floc/décantation /F.A.S./chloration	_2 sources gravitaires _ressource p^{ale}: eaux du creux de la Mélie (aquifère sablo-argileux)	CIRE Rhône Alpes Auvregne [55]

ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS EN OOCYSTES DE *CRYPTOSPORIDIUM* RETROUVEES DANS L'EAU

Tableau 3 : Tableau de synthèse des niveaux de concentration en oocystes de *Cryptosporidium* retrouvés dans différents types d'eaux dans le monde

Type d'eau	Pays	Concentrations moyenne (oocystes/L) (g: moyenne géométrique)	Plage de concentration ou concentration maximale (max) (oocystes/L)	Référence
EAUX SUPERFICIELLES				
	France			
Eaux superficielles	France (Clermont Ferrand)		5-44/L	Alame, Pepin et Mougeot, 1998 [133]
Eau de surface, Seine	France		4-10/L	T.S.M., 1994 [18]
Eau de surface	France	15,620/L		Agence de l'eau Loire Bretagne Cirsee-Suez Lyonnaise des eaux, Etude du Leff,1999-2000 [79]
Eau de surface	France			Agence de l'eau Seine Normandie SPDE, Etude de la Seine, 1998-1999 [79]
2 rivières rurales		1,200/L		
2 rivières urbaines		32,200/L		
Lac de l'Abbaye (eau traitée: filtration + chloration)	France (jura)	0,007/L	0-0,010/L	CRECEP, 1998
Lac d'Ilay (eau traitée: filtratin + chloration)	France (jura)	0,003/L	0-0,010/L	CRECEP, 1998
	Royaume Uni			
Eau de surface recevant rejets urbains et agricoles	Royaume Uni		0,006 à 2,500/L	Smith, 1990 [110]
Fleuve [1] (4 emplacements)	Royaume Uni	0,380/L (g)	0,040-3/L	Le Groupe *National* D'Enquête De Cryptosporidium, 1992 * [19]
Fleuve [1] (4 emplacements)	Royaume Uni	0,500/L (g)	0,007-2,750/L	Le Groupe *National* D'Enquête De Cryptosporidium, 1992 * [19]
Fleuve [1] (2 emplacements)	Royaume Uni	0,950/L (g)	0,070-4/L	The national Cryptosporidium Survey Group, 1992 * [19]
Eaux de surface Cristalline	Royaume Uni		0,020 à 0,080/L	Smith, 1990 [110]
Cours d'eau/lac	Royaume Uni	NR	0,006-2,300/L	Smith and al, 1991 * [19]
Rivières	Royaume Uni		0,040-4/L	Tyzzer, 1907 [39]
	Etats Unis			
Eau de surface	Echantillonnage dans 17 états américains	0,430/L		Rose et al.,1991 [18]
Eau de surface	Echantillonnage dans 14 états Est-Américains et 1 province canadienne	2,700/L		Lechevallier et al.,1191 [18]
6 fleuves [1]	Etats Unis	25/L (adj)	2-112/L	Ongerth and Stibbs, 1987 * [19]
lac/reservoir	Etats Unis	0,910/L(g)	1,100-8,900/L	Rose, 1988 * [19]
Fleuve/rivière	Etats Unis	0,940/L (g)	0,040-18/L	Rose, 1988 * [19]
Cours d'eau/rivière	Etats Unis	0,660/L (g)	< 0,001-44/L	Rose and al, 1991 * [19]
Rivière/lac,	Etats Unis	2,400/L(g)	0,065-65,100/L	LeChevallier and Norton, 1995 [19]
Fleuve	Etats Unis	0,580/L(g)	0,010-75,700/L	Stetzenbach and al, 1988 * [19]
Eaux de surface	Etats Unis	0,600/L	0-25/L	Kfir and al, 1995 [19]
Rivière/lac	Etats Unis	17,8/L	7,1-28,5/L	Rose and al, 1988 *[19]
Lac	Etats Unis	0,580/L (g)	0-22/L	Rose and al, 1988 * [19]
Fleuve	Etats Unis	0,080/L(g)	NR	Rose and al, 1988 * [19]
Cours d'eau	Etats Unis	1,090/L (g)	0-240/L	Rose and al, 1988 * [19]
Lac	Etats Unis	1,030/L (g)	< 0,001-3,800/L	Rose and al, 1991 * [19]
Fleuve	Etats Unis	0,290/L	NR	Rose and al, 1991 * [19]
Lac	Etats Unis	0,093/L(g)	NR	Rose and al, 1991 * [19]
Exhaure	Etats Unis	0,040/L(g)	< 0,003-0,130/L	Rose and al, 1991 * [19]
Lac	Etats Unis	4,74	0,110-251,700/L	Stetzenbach and al, 1988 * [19]
Fleuve/rivière [1]	Etats Unis	1920/L [3]	0,8-5800/L [3]	Madore and al, 1987 * [19]
	Canada			
2 rivières, 3 sites de prélèvements	Canada, Montréal	<0,02-7/L	<0,02-7/L	Payment P and Franco E.,1993 [110]
3 fleuves, [1] Ottawa	Canada	0,260/L	< 0,200-2,250/L	Chauret and al, 1995b [19]
Lac	Canada, Yukon	0,003/L	0-0,003/L	Roach et autres, 1993 *[19]
	Israël			
Cours d'eau	Israël		0,040-1,900	Zuckerman and al, 1997 [39]
Lac/ réservoir	Israël		0,300-1,090	Zuckerman and al, 1997 [39]
Eaux de surface	Afrique du Sud		0-25/L	Kfir and al,1995 [39]

Type d'eau	Pays	Concentrations moyenne (oocystes/L) (g: moyenne géométrique)	Plage de concentration ou concentration maximale (max) (oocystes/L)	Référence
EAUX SOUTERRAINES				
	France			
Eau souterraines	France		0-0,400/L	CSPHF, [39]
Eau brute de captage avant désinfection	France, Eure et Loire (Montboissier)	0,010/L	0-0,030/L	CRECEP, 1998 [5]
Eau brute de captage avant désinfection	France, Eure et Loire (Bullainville)	0,016/L	0-0,010/L	CRECEP, 1998 [5]
Eau kartsique	France, Eure (St Cécile)	0,068/L	0,020-0,120/L	CRECEP, 1998 [5]
Eau kartsique	France, Eure (Coulonges)	0,045/L	0,010-0,090/L	CRECEP, 1998 [5]
Eau kartsique	France, Eure (Houlbec)	0,010/L (valeur unique)		CRECEP, 1998 [5]
Eau en zone schisteuse	France, Manche (Cerisy la salle)	0,140/L (adj)	0-0,420/L (adj)	ENSP,1998 [5]
Eau en zone granitique	France, Manche (Sartilly Sud)	0,036/L (adj)	0,026-0,053/L (adj)	ENSP,1998 [5]
Eau en zone granitique	France, Manche (Sourdeval)	0,008/L (adj)	0-0,025 (adj)	ENSP,1998 [5]
	Royaume Uni			
Eau souterraines	Royaume Uni		0,040-5 /L	The National Cryptosporidium Survey Group, 1992 * [39]
Eaux souterraines puits[2]	Royaume Uni	0,230/L (g)	0,004-0,922/L	The National Cryptosporidium Survey Group, 1992 * [19]
	Etats Unis			
Eaux souterraines puits	Etats Unis	0,003/L (valeur unique)		Rose and al, 1991 * [19]
Eau souterraines	Etats Unis		0,002-5,280/L	Hancock, Rose and Callahan,1998 [39]
Eau souterraines dont puits verticaux	Etats Unis		0,002-5,290/L	Hancock, Rose and Callahan,1998 [39]
Eau souterraines dont sources	Etats Unis		0,002-5,300/L	Hancock, Rose and Callahan,1998 [39]
Eau souterraines dont galeries d'infiltration	Etats Unis		0,002-5,310/L	Hancock, Rose and Callahan,1998 [39]
Eau souterraines dont puits horizontaux	Etats Unis		0,002-5,320/L	Hancock, Rose and Callahan,1998 [39]
Eaux souterraines non influencées par des eaux de surfaces	Données globales sans précisions		absence	Lyonnaise des eaux, 31/03/200, Pratique Recommandée sur Cryptodporidium; direction technique et de la Recherche, responsables: Alan Thompson et nicole Dubis (document confidentiel)
Eaux souterraines influencées par des eaux de surfaces	Données globales		0,100/L	
EAU POTABLE				
	France			
Eau potable	France, Rouen	0,017/L		[18]
Eau potable	France, Seine		0,020-0,140/L	Dummoutier,1993 [18]
Eau potable	France (Seine maritime)		0,300-0,140/L	DDASS Seine maritime, 1996 [39]
	Allemagne			
Eau potable	Allemagne		0,0013-0,210/L	Karanis,[29]
	Royaume Uni			
Eau potable	Royaume Uni		0,006-4,800/L	Smith, 1990 [110]
Eau potable	Royaume Uni		0,007-0,720/L	Lechevallier et al,[29]
	Etats Unis			
Eau potable	18 états des Etats Unis		0,005-0,017/L	Rose and al,1991 [39]
Eau potable	Etats Unis	0,015/L		Lechevallier et al,1991[18]
Eau potable	Etats Unis		0,005-0,007/L	Lechevallier et al,[29]
Eau potable	Etats Unis		0,001-0,480/L	Lechevallier et al,[29]
Eau potable	Etats Unis		0,001-0,170/L	Lechevallier et al,[29]
Eau potable	Etats Unis		0,500 -1,700/L	Rose et al, 1991 [110]
	Canada			
Eau potable	Canada		0,02-0,005/L	Wallis et al,1995 [29]
	Autres			
Eau potable	Afrique du Sud	0,500/L	0-20/L	Kfir and al,1995 [39,29]
Eau potable	Taiwan		1,500-7/L	Hsu and al, 1999 [29]

Type d'eau	Pays	Concentrations moyenne (oocystes/L) (g: moyenne géométrique)	Plage de concentration ou concentration maximale (max) (oocystes/L)	Référence
EAUX USEES				
	Royaume Uni			
Intrant et effluent d'eaux usées	Royaume Uni		10-170/L	Smith and al, 1997 [39]
Intrant et effluent d'eaux usées	Royaume Uni		10-60/L	Smith and al, 1997 [39]
Eau usées	Royaume Uni		3,3 à 20 000/L	Smith, 1990 [110]
	Etats Unis			
Eau usées en entrée de station	Etats Unis	3 000-5 000/L	13 000/L (max)	Rose,1998; Sykora,1991 [18]
Eau usées en sortie de station			1000/L (max)	
Eau de sufarce dont effluents traités	Etats Unis (6 états de l'Ouest)		4,100-1732/L	Rose, 1988 [39]
	Canada			
Eau usées	Canada		1-120/L	Wallis et al,1995 [110]
Effluent brut	Afrique du Sud		0-50/L	Kfir and al,1995 [39]
	Afrique du Sud			
Effluent traité	Afrique du Sud		0-45/L	Kfir and al,1995 [39]
Eaux brutes avec rejets de station d'épuration	Données globales		100-1000/L	Lyonnaise des eaux, 31/03/200, Pratique Recommandée sur Cryptodporidium; direction technique et de la Recherche, Alan Thompson et nicole Dubis (document confidentiel)
Eau brutes avec zones agricoles	Données globales	10/L		
EAUX RECREATIVES				
Eau récréative			0,500/L (max)	Joce,1991 [18]
Eau récréative			0,660-500/L	Smith, 1990 [110]
CITERNES				
Citernes privées	Iles vierges américaines		0,010-0,700/L	Cabtree and al, 1996 [39]
Citernes publiques	Iles vierges américaines		0,010-0,800/L	Cabtree and al, 1996 [39]
EAU DE LAVAGE DE FILTRES				
Eau de lavage de filtres	France, Seine-Maritime (Fontaine/Préaux)	7,880/L (adj)	0-125/L (adj)	ENSP,1998 [5]
Eau de lavage de filtres	France, Seine-Maritime (Moulineaux)	63,270/L (adj)	0-25/L(adj)	ENSP,1998 [5]
Eau de lavage de filtres	France		0-125/L	CSPHF, 1999 [39]

NR = non renseigné;
(adj) =données ajustées (valeurs brutes données pour moins de 100L)
* cité par Lisle and Rose (1995)
[1] recevant des rejet urbain ou agricole;
[2] épisode de contamination par des coliformes.
[3] valeur non retenue pour le calcul de la moyenne

"sans activités contaminantes" = peu ou pas d'activités humaines au niveau du bassin versant (ligne de partage des eaux), accès limité, pas d'activités agricoles au niveau du bassin versant et pas de déversement d'eaux usées en amont des prélèvements (Lisle and Rose, 1995);

ANNEXE 5 : CONCENTRATION EN OOCYSTES DANS L'EAU LORS D'EPIDEMIES

Tableau 4 : Tableau de synthèse des concentrations retrouvées dans l'eau lors d'épidémies de cryptosporidiose

Date	Localisation	Nombre de cas	Cause suspectée	Ressource/traitement	Eau contaminée	Oocystes/L retrouvés dans l'eau	Eau analysée	Référence
1987	Carrollton Georgia	12960 infectés	Défaillance de floculation.	Rivière. Clarification/FAS/chloration.	Eau de surface.	0,037-0,159/L	Concentration obtenue après épidémie. Eau traitée.	Hayes et al, 1989 [58], [79] ,[60]
1990	Loch Lomond RU	442 cas confirmés	Défaillance traitement.	Lac (loch).	Eau de distribution.	0,8 /L		Barer et Wright, 1990 [58], [79]
1988	Ayrshire RU	27 cas confirmés	Infiltration d'eau contaminée.	Eau de surface. Chloration.	Eau de distribution.	6,7 /L	Réservoir de distribution d'eau traitée.	Smith et al, 1988 [58], [79]
1989	Wiltshire and Oxfordshire RU	516 cas	Défaillance traitement.	Eau de rivière. Clarification/F.A.S./chlorat.	Eau de distribution.	0,002-24 /L	Eau du robinet	Richardson AJ, Frankenberg RA, Buck AC, Selkon JB, Colbourne JS, Parsons JW, Mayon-White RT [58]
1993	Milwaukee, Wisconsin USA	403 000 malades 4 400 hospitalisés 69 décès	Défaillance traitement. Modification du procédé de traitement.	Lac. Clarification.	Eau de distribution.	0,028-1,32/l (estimation scientifique) 0,007-0,026/L (wound cartridge method) 0,067-0,132/L (membrane filtration method)	Echantillon :glace.	CCN, 1997, 3(1) :1-2 Christensen et al,1997 Eisenberg et al ,1998 Mackenzie et al,1995 Morris et al;1998 [58], [79]
1997	Three Valleys RU	366 cas confirmés	Ressource contaminée. ozoneur en arrêt.	Forage Ozonatio/ filtration sur CAG		0,3/L		[13]
03/2000	Clitheroe, Lancashire RU	58 cas	Contamination des sources de Grindleton par des déjections animales.	Eaux souterraines.	Eau de distribution.	76/L (17/03/2000) 0,5/L (16/03/2000) 0,1-0,9/L (16/03-06/04/2000)	STEP. robinet consommateur. robinet consommateur.	HOWE AD et al, 2002 [51]
09/2001	Dracy le Fort France	480 cas	Défaillance des réseaux de distribution d'eau de la STEP.Contamination du réseau de distribution par des eaux usées.	Eau provenant de la nappe alluviale de la Saône. Eau chlorée. Alimentations: gravitaire/ "refoulement" sous pression.	Eau de distribution.	0,13 /L (max) (24/09/2001) 0,009-0,019 /L (27/09-01/10/2001)	Eau de distribution.	InVS, P. Beaudeau et al, 2001 [38]
05/2002	Ireland	29 cas	Contamination de la ressource par lessivage des sols.Contamination par les activités agrivoles environnantes (lisiers, fumier), champs agricoles entourant le lac.	Source alimentant un lac eau chlorée non filtrée.	Lac.	0,14-0,24/L 0,1/L	Echantillon d'eau de lac filtrée. Eau du réseau (robinet du consommateur) valeur trouvée dans un des	Department of Public Health and Planning of the Midland Health Board,2002 [28]
09/2003	France Divonnes les bains	800 cas	Contamination par retour d'eau de la station d'épuration de l'eau distribuée (mauvaise connexion d'un branchement).	2 sources gravitaires chlorée. Ressource principale: captage des eaux du creux de la Mélie (eaux d'aquifère sablo-argileux, couche argileuse insuffisante pour protéger le catage). Traitement: clarification /FAS/chloration.	Eau de distribution.	3,37 /L (max) 29/08/2003 0,1 à 0,2/L (04/09-14/09/2003)	Eau de purge. Eau de distribution.	CIRE Rhône Alpes Auvregne [55]

ANNEXE 6 : MODES DE PRODUCTION D'ECS

Tableau 5 : Tableau de synthèse des différents modes de production d'ECS

	Usage	Energie	Mode de fonctionnement	Appareils
Production Individuelle	Simple usage	Electricité	Semi-instantané	-Chauffe-eau instantané (10-24KW) -Chauffe-eau < 50L (120-200W/L)
			Accumulation	-Chauffe-eau > 50L (10-12 W/L)
		Pompe à chaleur		Pompe air/eau : chauffe-eau thermodynamique (+ ballon 300L)
		Gaz	Instantané	-Chauffe-eau (8-9KW) -Chauffe-bain (17-28 KW) -Générateurs (29-70 KW)
			Accumulation	-Ballon de 75 à 200L
		Solaire		Système électrosolaire : -ballon et capteur + chauffe-eau électrique -ballon électrosolaire comprenant serpentin solaire et résistance électrique
	Double usage	Gaz	Instantané	- Chauffage direct : chaudière à 2 circuits hydrauliques alimentant 2 surfaces d'échanges pour ECS et pour le chauffage. - Chauffage indirect : chaudière, circuit primaire envoyé soit vers circuit de chauffage soit vers échangeurs secondaire.
			Accumulation	Système associant dans une même enveloppe une chaudière à 2 circuits hydrauliques indépendant et ballon de stockage. Le ballon peut être combiné à une chaudière double usage instantanée.
		Combustible		Chaudière au sol de puissance moyenne qui assure chauffage d'un fluide primaire destiné au chauffage des locaux et au réchauffage de l'ECS, soit *via* un serpentin soit *via* un réservoir double enveloppe.
Production Collective		Electricité	Instantané	Système associant chaudière électrique et préparateurs d'ECS instantané. Volume de stockage > aux besoins max. en 1 heure.
			Semi-instantané	Système proche de celui pour la production instantanée. Volume de stockage > aux besoins max. en 3 heure.
			Accumulation	Système constitué d'1 ou plusieurs appareils de stockage de forte capacité, équipés de résistances électriques.
		Combustible	Instantané	L'installation comprend un échangeur alimenté par la chaudière à combustible
		Combustible ou à partir du réseau	Semi-instantané	Installation associant soit une chaudière à combustible, soit un échangeur de chauffage urbain, utilisable simultanément pour le chauffage des locaux, à un préparateur séparé de type semi-instantané, alimenté par une boucle primaire.
		Combustible ou à partir du réseau	Accumulation	Installation proche de la précédente. Différence : dispositif de réchauffage constitué d'une épingle alimenté en fluide primaire à partir d'une chaudière à combustible ou d'une sous-station* raccordée à un réseau de chauffage urbain. Une autre solution consiste à prévoir l'installation de résistances électriques dans le ballon de stockage en plus du réchauffeur à eau chaude.
		Solaire		Système réalisant un bouclage sur un stockage purement solaire, placé sur le circuit d'alimentation en eau froide. 2 m^2 de capteurs par personne, stockage de 100 à 150 L/personne.

Pour plus d'informations techniques il convient de se référer au traité Génie énergétique [16].

ANNEXE 7: NORME NSF 53

Contents

Foreword vii

1 General 1
- 1.1 Scope 1
- 1.2 Minimum requirements 1
- 1.3 Standard review 1

2 Normative references 1

3 Definitions 2

4 Materials 4
- 4.1 Materials in contact with drinking water 4
- 4.2 Materials evaluation 5

5 Design and construction 5
- 5.1 Working pressure 5
- 5.2 Performance indication of chemical reduction capacity 5
- 5.3 Elements 6
- 5.4 Flow control 6
- 5.5 Waste connections 6
- 5.6 Product water dispensing outlets 6
- 5.7 Hazards 6
- 5.8 Systems used in bottled water plants 6
- 5.9 Operation temperature 6

6 Chemical, mechanical, and structural performance 6
- 6.1 Active agents and additives 6
- 6.2 Aesthetic effects claims 6
- 6.3 Chemical reduction claims 6
- 6.4 Organic chemical reduction claims 6
- 6.5 Mechanical filtration reduction claims 6
- 6.6 Structural integrity 7
- 6.7 Filter media 9
- 6.8 Rated pressure drop 9
- 6.9 Minimum service flow 9
- 6.10 Rated service flow 9
- 6.11 Chemical reduction test methods 9
- 6.12 Mechanical filtration test methods 11
- 6.13 Performance indication device verification test 15

7 Instruction and information 16
- 7.1 Installation, operation, and maintenance instructions 16
- 7.2 Data plate 17
- 7.3 Replacement components 17
- 7.4 Performance data sheet 18

Figures

Figure 1 – Example test apparatus 19

Tables

Table 1 – Extraction testing parameters 21
Table 2 – Formulation dependent extraction testing parameters 23
Table 3 – Materials listed in U.S. Code of Federal Regulations, Title 21, not requiring formulation review 25
Table 4 – Chemical reduction requirements 26
Table 5 – Organic chemicals included by surrogate testing 28
Table 6 – Structural integrity 30
Table 7 – Minimum service flow 31
Table 8 – Actual compounds for influent challenge 32

Annexes

A Test method for detecting and enumerating *Cryptosporidium parvum* oocysts (normative) A1
A.1 Summary of method A1
A.2 Equipment A1
A.3 Reagents A1
A.4 Safety A2
A.5 Enumeration of stock oocyst suspension A2
A.6 Procedure A2
A.7 Quality control A5
A.8 Analyst verification A6
Table A.1 – Ethanol/glycerol series A8
Table A.2 – Suggested sample volumes for 25 mm membrane filters A8
Table A.3 – Quality control acceptance criteria for performance tests for *Cryptosporidium parvum* A8

B Test method for detecting and enumerating polystyrene microspheres (normative) B1
B.1 Summary of method B1
B.2 Equipment B1
B.3 Reagents B1
B.4 Enumeration of stock microspheres B1
B.5 Procedure B1
B.6 Quality control B3
B.7 Analyst verification B5
Table B.1 – Suggested sample volumes for 25 mm membrane filters B5
Table B.2 – Quality control acceptance criteria for performance tests for microspheres B5

C Key elements of a certification program for drinking water treatment systems and components (informative) C1
C.1 Marking the product C1
C.2 Listing certified companies C1
C.3 Annual audits C1
C.4 Testing C1
C.5 Toxicological evaluation of materials formulations C1
C.6 Corrective action C1
C.7 Enforcement C1
C.8 Administrative review C2
C.9 Appeals C2
C.10 Complaints C2
C.11 Advertising C2
C.12 Records C2
C.13 Public notice C2
C.14 Confidentiality C2

Foreword (This foreword is not part of ANSI/NSF 53 – 2000.)

The purpose of this Standard is to establish minimum requirements for materials, design and construction, and performance of drinking water treatment systems that are designed to reduce specific health-related contaminants in public or private water supplies. ANSI/NSF 53 specifies minimum product literature requirements that manufacturers must provide to authorized representatives and owners.

Water contact materials in Drinking Water Treatment Units listed under ANSI/NSF 42, 44, 53, 55, 58, and 62 are tested and evaluated under a separate protocol from ANSI/NSF 61 with criteria which were developed specifically for the intended end-use. ANSI/NSF 61 listing should not be additionally required for acceptance of these listed units for water contact application.

It is the intent of the Joint Committee to remove the test dust method as a surrogate for cyst reduction from the Standard after March, 2004, a period of five years from the adoption of testing using live *Cryptosporidium parvum* oocysts and polystyrene microspheres.

Revisions in ANSI/NSF 53 – 2000 include the following:

- A performance indication device protocol had been included that establishes requirements and provides a test method form performance indication devices. Performance testing at dynamic pressure was introduced for this new protocol, but the dynamic pressure issue will be further revised in the next edition of ANSI/NSF 53.

- A maximum operating temperature, which must be reported in the literature, was added to the Design and Construction section. This was done because material testing at elevated temperatures was removed from the Standard since performance tests are not done at elevated temperatures.

- Rated service flow requirements were clarified in a revision of table 7, and the minimum service flow requirements for special systems were eliminated.

This Standard was developed by the NSF Joint Committee on Drinking Water Treatment Units using the consensus process described by the American National Standards Institute.

Suggestions for improvement of this Standard are welcome. Comments should be sent to NSF International, Standards Department, PO Box 130140, Ann Arbor, Michigan 48113-0140, USA.

When this document was balloted, the NSF Joint Committee on Drinking Water Treatment Units had the following members:

Name of Representative ..... *Affiliation*

Public Health

Ellison, T. Duncan, Chairperson ..... Canadian Water and Wastewater Association

Burns, Robert F., PE ..... Department of Health Services, Drinking Water Program, CA
Conway, John B., MPH, PhD ..... University of Albany, School of Public Health
Grubbs, Thomas R., PE ..... Office of Drinking Water, USEPA, DC
Magnant, Michael ..... Iowa Department of Public Health
Meier, Peter G., PhD ..... University of Michigan, School of Public Health

estimated capacity for chemical reduction claims.

5.3 Elements

Cartridges, filters, and similar replacement components shall be readily removable.

5.4 Flow control

If the performance of a system is dependent on a specified flow rate, an automatic, fixed flow-rate control shall be provided as an integral part of the system to prevent excessive flow.

5.5 Waste connections

Waste connections or drain outlets, if provided, shall be designed and constructed to provide for connection to the sanitary waste system through an air gap of 2 pipe diameters or 25.4 mm (1 in), whichever is larger.

5.6 Product water dispensing outlets

Product water dispensing outlets, if provided, shall be designed, constructed, and located so the discharge orifice is directed downward and the lower edge of the outlet shall be at an elevation not less than 51 mm (2 in) above the flood rim of the waste receptacle.

5.7 Hazards

All component parts shall be free of nonfunctional rough or sharp edges or other hazards that may cause injury to persons adjusting, servicing, or using the system.

5.8 Systems used in bottled water plants

Systems shall have a redundant filtration element sealing mechanism such as 222 and 226 double o-ring seals.

5.9 Operation temperature

The complete system shall be designed to operate at a maximum temperature no higher than 38°C (100°F).

6 Chemical, mechanical, and structural performance

6.1 Active agents and additives

Where an active agent or additive is used in the drinking water treatment process, the product water shall not contain that substance (or its degradation products) at a level of toxicological significance as given by the USEPA *Primary Drinking Water Regulations*, or by any US Federal regulatory agency, or at a level that exceeds constituent limits of the USEPA *Secondary Drinking Water Regulations*.

6.2 Aesthetic effects claims

Claims for bacteriostasis, taste, odor, and other aesthetic effects shall not be verified under this Standard. Such claims shall be tested for compliance with ANSI/NSF 42.

6.3 Chemical reduction claims

6.3.1 General

Claims for chemical reduction may be made for the specific organic or inorganic contaminants shown in table 4 when tested in accordance with 6.11. To qualify for a specific contaminant reduction claim, the system shall reduce the influent concentration(s) so that all effluent concentrations are less than or equal to the maximum effluent concentrations shown in table 4.

6.3.2 Lead reduction claims

To qualify for a lead reduction claim all systems shall meet the requirements of 6.3 for the lead pH 6.5 reduction testing. If during the lead pH 8.5 reduction testing, the flow rate through the system is reduced by 75% of the initial clean flow rate after reaching 100% of the rated capacity and the lead effluent concentrations are less than or equal to the maximum effluent concentration shown in table 4, the system shall qualify for the lead reduction claim.

6.4 Organic chemical reduction claims

Claims for chemical reduction may be made for a group of organic chemicals and other organic chemicals shown in table 5 when tested in accordance with 6.11. The system shall reduce the arithmetic mean of the influent concentrations of chloroform at 300 µg/L ± 30 µg/L at each sample point by at least 95%.

> NOTE – The use of chloroform as the surrogate is limited to systems using an activated carbon filter component to accomplish the organic chemical reduction.

6.5 Mechanical filtration reduction claims

6.5.1 Cyst reduction

The system shall be tested using one of the following options:

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

—live *Cryptosporidium parvum* oocysts (see 6.5.1.1);

– polystyrene microspheres (see 6.5.1.2); or

– test dust (see 6.5.1.3).

6.5.1.1 Live *Cryptosporidium parvum* oocyst reduction

The system shall reduce the number of live *Cryptosporidium parvum* oocysts from an influent challenge of at least 50,000 (5×10^4) oocysts per liter by at least 99.95% when tested in accordance with 6.12. The *Cryptosporidium parvum* oocysts shall be from a calf source. The viability shall be greater than 50% determined by excystation[7]. The oocysts shall be stored with 1,000 I.U./mL penicillin and 1,000 ug/mL streptomycin at 4°C and shall be used within 8 weeks of collection.

NOTE – It has been reported that the oocyst wall of viable oocysts may deform. Excystation is performed as an indication of the potential of the oocyst wall to deform and is not done to measure the infectivity of the organism.

The live *Cryptosporidium parvum* oocyst reduction shall not be used when testing systems intended for use in bottled water plants because of laboratory personnel safety concerns.

6.5.1.2 Polystyrene microsphere reduction

The polystyrene microspheres shall have 95% of particles in the range of 3.00 ± 0.15 micrometers. The size variation of the polystyrene microspheres shall be confirmed by electron microscopy. The system shall reduce the number of polystyrene microspheres from an influent challenge of at least 50,000 (5×10^4) polystyrene microspheres per liter by at least 99.95% when tested in accordance with 6.12.

6.5.1.3 Test dust reduction

The system shall reduce the number of 3- to 4-micrometer particles from an influent challenge level of at least 50,000 (5×10^4) particles per milliliter by at least 99.95% when tested in accordance with 6.12.

[7] The in vitro excystation method is specified in *Development of a Test to Assess Cryptosporidium parvum Oocysts Viability: Correlation with Infectivity Potential*, American Water Works Association Research Foundation, 6666 West Quincy Avenue, Denver, CO 80235.

6.5.2 Turbidity reduction (organic and inorganic solids)

The system shall be tested using one of the following options:

– using the turbidity reduction challenge (see 6.5.2.1); or

– while performing the test dust reduction test for cyst reduction (see 6.5.2.2).

6.5.2.1 Turbidity reduction challenge

The system shall reduce the influent challenge level of 11 ± 1 NTU (nephelometric turbidity unit) to not more than 0.5 NTU when tested in accordance with 6.12. This level of turbidity reduction shall be maintained at all sampling points during testing.

6.5.2.2 Turbidity reduction while performing test dust reduction test for cyst reduction

The system shall reduce the influent challenge level of >10 NTU to not more than 0.5 NTU when tested in accordance with 6.12. This level of turbidity reduction shall be maintained at all sampling points during testing.

6.5.3 Asbestos reduction

The system shall reduce the influent asbestos fiber concentration in the range of 10^7 to 10^8 fibers per liter by at least 99% when tested in accordance with 6.12. The asbestos reduction shall be for fibers exceeding 10 micrometers in length.

NOTE – Claims for capacity or rated service cycle shall not be made for mechanical filtration systems because of the broad variation in the quality and quantity of particulate matter found in drinking water.

6.6 Structural integrity

Structural integrity testing requirements are summarized in table 6.

6.6.1 Complete systems with pressure vessels having a diameter of less than 203 mm (8 in) subject to line pressure

6.6.1.1 Systems shall be watertight when tested in accordance with 6.6.6.1 at three times the working pressure or 2,070 kPa (300 psig), whichever is greater.

6.6.1.2 Systems shall be watertight when tested in accordance with 6.6.6.3 after completion of 100,000 cycles at a pressure of 0 to 1,040 kPa (0 to 150 psig).

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

© 2000 NSF

6.12.2 Analytical methods

6.12.2.1 Test dust particles

Standard particle counting techniques available from particle counter manufacturers shall be used (e.g., Coulter, Royco, HIAC, Climat).

6.12.2.2 Asbestos fibers

Analysis for asbestos fibers shall be by transmission electron microscopy (TEM), or X-ray diffraction as an alternative, to the USEPA method 100.1 entitled *Analytical Method for Determination of Asbestos Fibers in Water.*

6.12.2.3 Turbidity

Analysis shall be in accordance with USEPA Method 180.1.

6.12.2.4 *Cryptosporidium parvum* oocysts

Analysis shall be in accordance with 53, annex A.

6.12.2.5 Polystyrene microspheres

Analysis shall be in accordance with 53, annex B.

6.12.3 Test Water

6.12.3.1 General test water

hardness (as $CaCO_3$)	not more than 170 mg/L
pH	7.5 ± 0.5
temperature	20°C ± 2.5°C (68°F ± 5°F)
total dissolved solids (TDS)	200 – 500 mg/L
turbidity	< 1 NTU

6.12.3.2 Test dust loading water

Test dust shall be added to the general test water specified in 6.12.3.1 to achieve a minimum of 10 NTU. The test dust shall have a nominal 0 to 5 micrometer size classification and shall have 96% (by volume percent) of its particles within this range and 20% to 40% (by volume percent) of its particles greater than 2.5 micrometers.[8]

[8] A test dust that meets these specifications is available from Powder Technologies, Inc., PO Box 1464, Burnsville, MN 55337.

6.12.4 Influent challenge – cyst

The system shall be tested using one of the following challenge waters.

- live *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge water (6.12.4.1);
- polystyrene microsphere challenge water (6.12.4.2); or
- test dust challenge water (6.12.4.3).

6.12.4.1 Live *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge water

The oocyst challenge water shall contain live *Cryptosporidium parvum* oocysts as specified in 6.5.1.1 added to the general test water specified in 6.12.3.1 to achieve at least 50,000 (5×10^4) oocysts/L.

6.12.4.2 Polystyrene microsphere challenge water

The polystyrene microsphere challenge water shall contain 3.00 micrometer polystyrene microspheres as specified in 6.5.1.2, added to the general test water specified in 6.12.3.1 to achieve at least 50,000 (5×10^4) microspheres/L.

6.12.4.3 Test dust challenge water

Test dust shall be added to the general test water specified in 6.12.3.1 to achieve at least 50,000 (5×10^4) particles/mL of 3 to 4 micrometers. The test dust shall have a nominal 0 to 5 micrometer size classification and shall have 96% (by volume percent) of its particles within this range and 20% to 40% (by volume percent) of its particles greater than 2.5 micrometers.[8]

6.12.5 Influent challenge – turbidity

Test dust shall be added to the general test water specified in 6.12.3.1 to achieve a turbidity of 11 ± 1 NTU. The test dust shall have a nominal 0 to 5 micrometer size classification and shall have 96% (by volume percent) of its particles within this range and 20% to 40% (by volume percent) of its particles greater than 2.5 micrometers.[8]

6.12.6 Influent challenge – asbestos

A 50-50 blend of chrysotile and anthophyllite asbestos shall be added to the general test water specified in 6.12.3.1 to produce a chrysotile and anthophyllite asbestos fiber concentration in the range of 10^7 to 10^8 fibers per liter. Only fibers greater than 10 micrometers shall be counted to confirm challenge.

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

6.12.7 Cycle time

6.12.7.1 Cycle time for cyst reduction

The systems shall be operated on a 50%-on / 50%-off cycle with a 20-minute cycle, for 16 hours per day, followed by an 8-hour rest under pressure.

NOTE - If the sample period occurs near the end of the 16 hours of operation and the sample collection would extend beyond the 16-hour period, the collection of the sample may be delayed until the start of the next 16-hour period.

6.12.7.2 Cycle time for turbidity and asbestos reduction

The systems shall be operated on a 50%-on / 50%-off cycle basis with a 15- to 40-minute cycle, 16 hours per day, followed by an 8-hour rest under pressure (a 10%-on / 90%-off cycle may be used if requested by the manufacturer).

6.12.7.3 Cycle time for polystyrene microsphere reduction for systems used in bottled water plants

The systems shall be tested for up to 16 hours a day under constant flow conditions, followed by an 8-hour rest under pressure, except as provided for in 6.12.11.1.2.

6.12.8 Method – plumbed-in systems without reservoirs

6.12.8.1 Cyst reduction

Two systems shall be conditioned in accordance with the manufacturer's instructions, using the general test water specified in 6.12.3.1. The two systems shall be tested at the maximum flow rate attainable at a static inlet pressure of 410 kPa (60 psig) using the cycle time in 6.12.7.1.

6.12.8.1.1 Polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge procedure

The polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge procedure shall be performed as follows:

a) The challenge test water, specified in 6.12.4.1 or 6.12.4.2, shall be used until the end of the eighth cycle.

b) The challenge test water shall be stopped and the test dust loading water, specified in 6.12.3.2, shall be used until the flow rate is reduced by 25%.

c) The test dust loading water shall be stopped and the general test water without challenge, specified in 6.12.3.1, shall be used for 2 cycles.

d) The general test water shall be stopped and the challenge test water, specified in 6.12.4.1 or 6.12.4.2, shall be used for 4 cycles.

e) The challenge test water shall be stopped and the test dust loading water shall be used until the flow rate is reduced by 50% from the original flow rate. Steps c and d shall then be repeated.

f) The challenge test water shall be stopped and the test dust loading water shall be used until the flow rate is reduced by 75% from the original flow rate. Steps c and d shall then be repeated.

6.12.8.1.2 Test dust sampling points and challenge water introduction

The test dust challenge water specified in 6.12.4.3 shall be introduced and samples shall be collected and measured at the fourth cycle, 25%, 50% and 75% flow reduction points.

6.12.8.2 Polystyrene microsphere reduction for systems used in bottled water plants

Two systems shall be conditioned in accordance with the manufacturer's instructions, using the general test water specified in 6.12.3.1. The systems shall be tested using the polystyrene microsphere challenge water specified in 6.12.4.2 at the rated service flow specified by the manufacturer using a dynamic test manifold inlet pressure of up to 620 kPa (90 psig), and the cycle time specified in 6.12.7.3. The manufacturer's rated service flow ± 10% shall be maintained throughout the test using a control valve located downstream of the unit.

6.12.8.2.1 Challenge water introduction for systems used in bottled water plants

The polystyrene microsphere challenge water as specified in 6.12.4.2 shall be introduced until the collection of the start-up sample is completed. The polystyrene microsphere challenge shall be stopped. The test dust loading water as specified in 6.12.3.2 shall be introduced until the 25% pressure drop point is reached. The test dust loading water shall be terminated and general test water specified in 6.12.3.1 shall be introduced for 10 minutes. The polystyrene microsphere challenge water shall be introduced for 20 minutes. At the end of the 20-minute period a pressure pulse shall be administered to the system which shall be collected in the effluent sample. After sampling, the polystyrene

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

microsphere challenge shall be terminated and the test dust loading water shall be introduced until the next sampling point where the procedure shall be repeated.

6.12.8.3 Turbidity reduction

Two systems shall be conditioned in accordance with the manufacturer's instructions, using the general test water specified in 6.12.3.1. The systems shall be tested using the challenge water in 6.12.5 at the maximum flow rate attainable at a static inlet pressure of 410 kPa (60 psig) using the cycle time in 6.12.7.2.

6.12.8.4 Asbestos reduction

Two systems shall be conditioned in accordance with the manufacturer's instructions, using the general test water specified in 6.12.3.1 without the asbestos fibers. The systems shall be tested using the general test water in 6.12.3.1 at the maximum flow rate attainable at a static inlet pressure of 410 kPa (60 psig) using the cycle time in 6.12.7.2. The asbestos suspension specified in 6.12.6 shall be added to the water just prior to the sample point. The asbestos suspension specified feed shall be of a volume equal to 10 minutes of initial unit flow, or 10 empty bed volumes, whichever is greater.

NOTE – The cyst test shall be performed prior to the asbestos reduction test.

6.12.9 Method – plumbed-in systems with reservoirs

The method specified in 6.12.8 shall be followed except that where the design of the system does not lend itself to the operating cycle in 6.12.8, such as an extended recovery time, the operating cycle shall be a repetitive complete filling and emptying of the reservoir. This cycle may be continued for 24 hours per day.

6.12.10 Method – batch treatment systems

6.12.10.1 Cyst reduction

Two systems shall be conditioned by completely filling the raw water reservoir with the general test water specified in 6.12.3.1. The challenge water shall be allowed to filter until it reaches its natural level in the raw and treated water reservoirs. A filling cycle shall be established based on the time required for one half of the water to filter through the initial cycle. The filling schedules shall be maintained 16 hours per day followed by an 8-hour rest period. The systems shall be filled completely each cycle with a measured volume. Treated water shall be discarded as necessary.

NOTE – If the sample period occurs near the end of the 16 hours of operation and the sample collection would extend beyond the 16-hour period, the collection of the sample may be delayed until the start of the next 16-hour period.

6.12.10.1.1 Polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge procedure

The polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst challenge procedure shall be performed as follows:

a) The challenge test water, specified in 6.12.4.1 or 6.12.4.2, shall be used until the end of the eighth cycle.

b) The test dust loading water, specified in 6.12.3.2, shall be used until the time required to complete 1 cycle has increased by 133% of the original cycle time.

c) The general test water without challenge, specified in 6.12.3.1, shall be used for 2 cycles.

d) The challenge test water, specified in 6.12.4.1 or 6.12.4.2, shall be used for 4 cycles.

e) The test dust loading water shall be used until the time required for 1 filling cycle has increased by 200% from the original cycle time. Steps c and d shall then be repeated.

f) The test dust loading water shall then be used until the time required for 1 filling cycle has increased by 400% from the original cycle time. Steps c and d shall then be repeated.

6.12.10.1.2 Test dust challenge procedure

The systems shall be tested using the challenge water in 6.12.4.3 and samples shall be collected and measured at the fourth cycle, 25%, 50% and 75% flow reduction points.

6.12.10.2 Turbidity reduction

Two systems shall be conditioned by completely filling the raw water reservoir with the general test water specified in 6.12.3.1. The systems shall be tested using the challenge water in 6.12.5. The water shall be allowed to filter until it reaches its natural level in the raw and treated water reservoirs. A filling cycle shall be established based on the time required for one half the water to filter through the initial cycle. The filling schedules shall be maintained 16 hours per day followed by an 8-hour rest period. The systems shall be filled completely each time with a measured volume. Treated water shall be discarded as necessary.

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

6.12.11 Sampling

6.12.11.1 Plumbed-in systems without reservoir and plumbed-in systems with reservoir

6.12.11.1.1 Sampling points for polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst challenges

The influent and effluent samples shall be collected and measured at the eighth cycle, 25%, 50% and 75% flow reduction points. Samples for the 25%, 50%, and 75% flow reduction points shall be collected at the beginning of the fourth cycle after the introduction of the challenge test water when the effluent from the previous cycle has been flushed from the sample apparatus. The samples shall be collected at the beginning of the flow to the test unit to include any particles that may be released from the sudden increase in flow to the test unit.

6.12.11.1.2 Sampling points for polystyrene microsphere challenge for systems used in bottled water plants

The influent and effluent samples shall be collected and measured at the start of the test and at 25%, 50%, 75%, 100%, and 150% ± 10% of the manufacturer's recommended maximum pressure drop at the rated service flow. Immediately prior to collection of the effluent samples, a pressure pulse shall be administered to the systems under test by causing a rapid interruption and resumption of flow typical of a fast-acting valve located downstream of the unit. For filtration elements that have maintenance procedures, which include re-use, backwashing, cleaning, sterilization, etc., the manufacturer's maintenance procedures shall be followed, the filtration elements(s) returned to service, and the test repeated. In addition to the collection of the influent and effluent samples specified, a sample of effluent shall be collected immediately upon resumption of flow to the systems under test.

6.12.11.1.3 Test dust cyst reduction, turbidity, and asbestos sampling procedure

Influent and effluent samples shall be collected at the beginning of the "on" cycle at the start of the test (beginning with the fourth cycle) and after each "off" cycle when the original flow from the system has decreased 25%, 50%, and 75%.

6.12.11.2 Batch treatment systems

6.12.11.2.1 Polystyrene microsphere and *Cryptosporidium parvum* oocyst sampling procedure

Influent (aliquot is removed by inserting a pipette to the mid-point of the raw water reservoir) and effluent samples shall be collected:

– at the beginning of the "on" portion of the eighth cycle;

– at the beginning of the "on" portion of the fourth batch of challenge test water introduced when the original filling time of the system has increased by 133%, 200%, and 400%.

6.12.11.2.2 Test dust cyst reduction and turbidity sampling procedure

Influent (aliquot removed by inserting pipette to mid-point of raw water reservoir) and effluent samples shall be collected at the beginning of the "on" portion of the fourth cycle and after each "on" cycle when the original filling time of the system has increased by 133%, 200%, and 400%.

NOTE – To determine the sampling points for asbestos reduction, the cyst reduction test shall be conducted prior to the asbestos reduction test.

6.13 Performance indication device verification test

6.13.1 Apparatus

A test apparatus capable of providing specified flow rates and dynamic pressures shall be used.

6.13.2 Test methods

Performance indication devices that are used in non-batch systems shall be evaluated by 6.13.2.1. Devices that are activated by a batch system shall be evaluated by 6.13.2.2.

NOTE - Performance indication devices may be evaluated during chemical reduction testing using the chemical challenge water if the testing requirements for the applicable test method, 6.13.2.1 or 6.13.2.2, are met during the challenge testing.

6.13.2.1 Flow test method

a) The test systems shall be conditioned following the manufacturer's instructions.

b) The systems shall be tested with general

Priscilla RABIER - Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique - 2004

ANNEXE 8 : TABLEAUX RELATIFS A L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS DE DESINFECTION EN STATION DE POTABILISATION VIS-A-VIS DE CRYPTOSPORIDIUM

Conditions	Taux d'inactivation	Référence
0,08 g/L de chlore, 25°C, pH=7,2, 2h	99%	[74]
8 à 16 g/L de chlore libre, 24h	100%	[116]
1 g/l de chlore, 10°C, 24h	70,5%	[98]
80 mg/L de chlore libre, 90 min.	90%	[79]

Tableau 6 : Efficacité du chlore

Conditions	Taux d'inactivation	Référence
0,43 mg/l, 15 à 30 min	64 à 69%	[93]
0,49mg/l, 30 min	63,8%	[98]
4,97mg/l, 15 min	95,8%	[98]
1,3mg/l, 1h	90%	[74]
52-200 $mg.l^{-1}.min$	90%	[14]
140-520 $mg.l^{-1}.min$	99%	[14]

Tableau 7 : Efficacité du dioxide de chlore

Conditions	Taux d'inactivation	Référence
2,25 mg/l, 15 à 30 min	99%	[93]
1 mg/l, 10 min	99%	[74]
1 mg/l, 10 min	>95%	[98]
5 mg/l, 5min, 5 à 20°C	75 à 100%	[92]
1,11 mg/l, 5min	100%	[93]
1,6 mg/l.min	68%	[14]
2,9 mg/l.min	90%	[14]
5,3 mg/l.min	99%	[14]

Tableau 8: Efficacité de l'ozone

Conditions	Taux d'inactivation	Référence
30 ou 40 $mW.s.cm^{-2}$	<90%	[64]
80 à 120 $mW.s.cm^{-2}$	90 à 99%	[98]
8748 $mW.s.cm^{-2}$	99%	[20]

Tableau 9 : Efficacité des traitements UV

ANNEXE 9 : QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION DE TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS ET DE PREPARATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE LORS D'UNE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR CRYPTOSPORIDIUM

Dans le cadre de la saisine 2003-SA-0337

INTERVIEW LE 23/06/2004 AVEC M. SEUX ; interview validé le 22/07/2004

1. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude (identifiés dans le tableau ci-joint) peuvent retenir des oocystes de *Cryptosporidium* ?
Réponse : tableau ci-joint

Question supplémentaire : N'y aurait-il pas piégeage d'oocystes dans les dépôts de tartre au niveau des générateurs d'eau chaude sanitaire?

Réponse : « Un piégeage des oocystes dans les dépôts de tartre au niveau des générateurs d'eau chaude sanitaire est effectivement possible. »

2.1. A votre avis, quelles sont les conditions physiques et biologiques limites (T°, pH, éléments physiques ou biologiques présents dans le milieu….) pour la survie des oocystes de *Crytosporidium* en dehors de l'hôte?

2.2. Quelle est la capacité, selon vous, des oocystes de *Cryptosporidium* à se développer ou à survivre dans les différents procédés de traitements complémentaires ?
Réponse : tableau ci-joint

Réponse : « les oocystes ne se développent pas dans les appareils de traitement car il sont dans l'environnement sous forme kystique, en état de « dormance ». L'enkystement assure au parasite une survie dans des conditions environnementales défavorables pour leur développement. Les oocystes ont donc besoin de retrouver des conditions adéquates à leur développement (cellules hôtes intestinales de mammifères à sang chaud principalement des bovins, caprins, ovins ou des humains) pour sortir de leur état de latence et effectuer leur cycle parasitaire. »

2.3. Pensez-vous que des oocystes puissent survivre ou être piégés dans des biofilms bactériens ? Si oui, combien de temps, selon vous ?

Réponse : « les oocystes ne se développent pas dans les biofilms. Par contre l'hypothèse de la rétention des oocystes par les biofilms est tout à fait vraisemblable. Pour avoir une idée sur le temps de rétention l'expérimentation reste indispensable. »

3. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude entraînent un relargage des oocystes de Cryptosporidium pendant et après une contamination du réseau d'eau ?
Réponse : tableau ci-joint

3.1. Quelles sont les caractéristiques de ce relargage des oocystes par les différents procédés : distribution du relargage des oocystes (fréquence de relargage, amplitude, temps de séjour dans l'appareil…)
Réponse : tableau ci-joint

4. Quelle est, selon vous, l'impact des opérations d'entretien et de mise en œuvre des appareils sur le développement ou la survie de la biomasse ?
Réponse : tableau ci-joint

5. Quels sont les éléments manquants pour évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation des appareils complémentaires lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium* ?

Réponse :
« Les données sur les niveaux de contamination par *Cryptosporidium* des eaux superficielles et des eaux karstiques en France sont insuffisantes.
Les données sur les niveaux de contamination par *Cryptosporidium* de l'eau potable distribuée sont plus qu'insuffisantes.
Il manque actuellement des données expérimentales sur les risques de rétentions et de survie des *Cryptosporidium* dans les différents appareils.
Les phénomènes de rétention des oocystes de *Cryptosporidium* dans les biofilms sont mal connus et très peu documentés. »

6. D'après vous, quels sont les différents outils (outils juridiques, administratifs, scientifiques,…) à mettre en place pour évaluer ce risque sanitaire ?

Réponse :
« Des expérimentations sur les différents appareils sont indispensables. Des contrôles devraient être obligatoirement effectués sur les différents appareils avant leur mise en circulation sur le marché français pour vérifier que les appareils ne sont pas susceptibles de retenir des *Cryptosporidium*. Pour cela la mise en place d'un protocole expérimentale s'avère nécessaire.
Avant de s'intéresser au risque potentiel des différents appareils il serait judicieux de réduire la contamination du réseau d'eau potable en amont. Pour cela une identification de l'origine de la contamination de l'eau par *Cryptosporidium* semble indispensable.
Un recensement des défaillances techniques à l'origine de survenue d'épidémies serait judicieux.
Une identification et une surveillance des zones à risques de contamination par Cryptosporidium, en France (captage des eaux de surfaces, captages des eaux karstiques…) est nécessaire. Les lieux d'élevage et d'épandage présentent un risque accru de contamination des captages environnants.
Pour cela on pourrait envisager une banque de données type SISE EAUX on l'on recenserait les épidémies survenues ainsi que toute analyse de *Cryptosporidium* effectuées en France. Les causes, les lieux et la nature des sols seraient notifiés. »

6.1. Peut-on imaginer mettre en place un pilote expérimental pour évaluer la nature du relargage des oocystes par les différents procédés de traitements complémentaires?

Réponse :
« On peut imaginer mettre en place un pilote expérimental. Par ailleurs le LERES, dans le cadre d'un mémoire de DEA, examine actuellement les performances de rétention (et de relargage) des oocystes de *Cryptosporidium* au niveau des filtres à sables et à charbon actif. Ces performances sont étudiées à partir d'un pilote. Des expérimentations similaires sont envisageables sur les différents appareils de traitements complémentaires. »

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS	**Résines échangeuses d'ions** (adoucisseur, filtres à résines, carafes…)	Une partie des oocystes peut être retenue de manière mécanique. Les pores de résines sont de l'ordre 1-100nm soit inférieures à la taille des oocystes. Il est donc difficile aux microorganismes dont la taille est > à 0,1 µm de pénétrer à l'intérieur. Mais ils peuvent être retenus par le lit de billes. Oui par piégeage dans les biofilms bactériens	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Expérimentations nécessaires. Toutefois on peut penser qu'en cas de rétention des oocystes dan les biofilms le relargage est similaire à celui des bactéries du biofilm	Lorsque l'on change le filtre des résines veiller à le manipuler avec précaution car une agitation peut entraîner un décrochement des oocystes piégés ou non dans le biofilm.
	Procédés membranaires (osmoseur)	Oui par rétention mécanique du fait de la taille des pores. En effet les filtres d'osmose inverse présentent des diamètres (< 0,4µm) inférieurs à la taille des oocystes (5µm) Oui par piégeage dans les biofilms bactériens.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Expérimentations nécessaires. Toutefois on peut penser qu'en cas de rétention des oocystes dan les biofilms le relargage est similaire à celui des bactéries du biofilm	Je pense que la même recommandation est valable pour tout les procédés de rétention ? Lorsque l'on change le filtre des résines veiller à le manipuler avec précaution car on agitation peut entraîner un décrochement des oocystes piégés ou non dans le biofilm.
	Distillation	Oui car les oocystes ne s'évaporant pas il reste dans l'appareil.	Le processus d'ébullition tue n'importe quel micro-organisme (virus, bactéries et protozoaires) présent dans l'eau.	Il y a sans doute rétention et donc possibilité de relargage mais les oocystes étant tués par ébullition le risque est négligeable.	Sans objet.	

PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
Filtration mécanique (fibres creuses, céramiques…)	Oui par rétention mécanique lorsque les filtres présentent des micropores. En effet les oocystes ayant une taille de 5 µm des pores de 1µm et moins les peuvent les retenir. En ce qui concerne les procédés de filtration à macroporosité une partie des oocystes va vraisemblablement être retenue par les filtres. Que l'on utilise des micropores ou des macropores les oocystes peuvent être retenus par piégeage dans les biofilms bactériens.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Expérimentations nécessaires. Toutefois on peut penser qu'en cas de rétention des oocystes dan les biofilms le relargage est similaire à celui des bactéries du biofilm.	Lorsque l'on change le filtre des résines veiller à le manipuler avec précaution car on agitation peut entraîner un décrochement des oocystes piégés ou non dans le biofilm.
Filtration sur charbon actif	Oui par rétention mécanique. Oui par piégeage dans les biofilms bactériens.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Oui, sans doute mais des expérimentations sont nécessaires pour confirmer ou non cette hypothèse.	Expérimentations nécessaires. Toutefois on peut penser qu'en cas de rétention des oocystes dan les biofilms le relargage est identique à celui des bactéries du biofilm.	Lorsque l'on change le filtre des résines veiller à le manipuler avec précaution car on agitation peut entraîner un décrochement des oocystes piégés ou non dans le biofilm
Traitement UV	Pas de rétention mais destruction des oocystes pour des puissance de l'ordre de 400 J/m^2	Non si la puissance des lampes est suffisante.	Pas de relargage car on a pas un phénomène de rétention.	Sans objet.	

PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
Produits chimiques (chlorateur, ozoneur…)	Pas de rétention. Effets désinfectants peu efficace contre les oocystes. La concentration en chlore libre qui serait nécessaire pour réduire la viabilité des oocystes présents à zéro est tout à fait incompatible avec la consommation humaine de l'eau : en condition expérimentales, en présence de 80mg de chlore libre par litre pendant 90min, la viabilité des oocystes diminue seulement de 90% [79].	On peut raisonnablement penser que oui. En effet, les ozoneurs sont peu efficaces pour la destruction des oocystes.	Non pas de relargage car on a pas un phénomène de rétention	Sans objet.	
Conditionnement par adjonction de produits chimiques (silicates, polyphosphates…)	Pas de rétention.	Pas de données sur les effets de ces produits sur *Cryptosporidium.* Expérimentation nécessaire.	Pas de relargage possible car on a pas un phénomène de rétention avec ce procédé.	Sans objet	
Autres procédés					

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
GENERATEURS D'ECS	**Générateurs instantanés** (échangeurs…)	Pas de rétention.	Non (destruction des oocystes par la chaleur).	Sans objet.	Sans objet.	
	Ballons	Pas de rétention.	Non (destruction des oocystes par la chaleur).	Sans objet.	Sans objet.	
	Chauffe eau	Pas de rétention.	Non (destruction des oocystes par la chaleur).	Sans objet.	Sans objet.	
	Chaudière	Pas de rétention.	Non (destruction des oocystes par la chaleur).	Sans objet.	Sans objet.	
	Autres procédés					

QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION DE TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS ET DE PREPARATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE LORS D'UNE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR *CRYPTOSPORIDIUM*

Dans le cadre de la saisine 2003-SA-0337

INTERVIEW LE 24/06/2004 AVEC Mme CARPENTIER ; interview validé le 03/08/2004

Définition d'un biofilm d'après Characklis, 1989 : "Cells immobilized at a substratum and frequently embedded in a organic polymer matrix of microbial origin ». D'après cette définition des cellules isolées peuvent constituer un biofilm. Ceci est admis par Carpentier et Cerf, 1999 ; Wimpenny et al. 2000 et l'ICMSF (International Comission on Microbiological Specifications for Foods) [66, 127]. Ceci se justifie par le fait que c'est l'adhésion qui provoque l'apparition du phénotype biofilm, notamment l'augmentation de résistance aux antimicrobiens.

1. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude (identifiés dans le tableau ci-joint) peuvent retenir des oocystes de *Cryptosporidium*?

2.1. A votre avis, quelles sont les conditions physiques et biologiques limites (T°, pH, éléments physiques ou biologiques présents dans le milieu….) pour la survie des oocystes de *Crytosporidium* en dehors de l'hôte ?

2.2. Quelle est la capacité, selon vous, des oocystes de *Cryptosporidium* à se développer ou à survivre dans les différents procédés de traitements complémentaires ?

2.3. Pensez-vous que des oocystes puissent survivre ou être piégés dans des biofilms bactériens ? Si oui, combien de temps, selon vous ?

Réponse : « On peut penser que les oocystes peuvent être piégés dans des biofilms, c'est l'hypothèse émise par Howe *et al.* 2002 [63]. En outre, des biofilms bactériens peuvent se former sur des substrats offrant de grande surface de contact tels que : des résines échangeuses d'ions, des membranes d'osmose inverse ou des filtres (C.A.G.).

Une étude menée conjointement par l'A.F.S.S.A. et l'INRA [26] a montré qu'au cours d'un nettoyage par ultra-son le détachement de spores de *Bacillus stearothermophilus* est proportionnel au détachement des cellules végétatives constituant le biofilm. Les spores utilisées lors de l'étude étant inertes on peut supposer qu'elles aient un comportement similaire à celui d'oocystes qui sont en état de latence dans l'environnement. Toutefois cette hypothèse est discutable. En effet, on ne sait pas si les spores et les oocystes ont le même comportement dans un biofilm bactérien. De plus, les conditions de développement du biofilm diffèrent : dans un cas il est formé expérimentalement en conditions statiques, un mélange de spores et de cellules végétatives est déposé sur une surface, et dans l'autre le biofilm se forme naturellement en conditions dynamiques (sous un écoulement d'eau dans des appareils de traitement de l'eau ou dans les réseaux) et les micro-organismes entrent en contact avec les surfaces en ordre dispersé.

Un phénomène important concernant le détachement du biofilm bactérien est qu'il s'effectue généralement en deux phases. Une étude portant sur le décrochement par frottis de cellules bactériennes présentes sur des surfaces ouvertes d'atelier agro-alimentaire en fin d'activités a montré qu'il existe deux populations : la première

caractérisée plus faiblement adhérente que la seconde [94]. On observe également qu'un nettoyant-désinfectant alcalin chloré permet d'éliminer la population faiblement adhérente.

Le relargage des spores et bactéries dépend du type de bactéries constituant le biofilm, du matériaux sur lequel il se développe, des produits d'hygiène utilisés, des forces d'érosion (type d'écoulement…).

Influence du type de colonie et de leur densité et de l'âge du biofilm

Ainsi on observe qu'un biofilm *Listeria monocytogenes* adhère mieux aux surfaces étudiées (acier inoxydable, P.V.C. et polyuréthane) que des biofilm de *Staphylococcus sciuri Pseudomonas putida* ou de *Comanomas sp* [25].

On remarque en conditions statiques que plus les microcolonies sont plus facilement décrochées que les cellules isolées [25].

La force d'adhésion du biofilm au substrat dépend de l'âge du biofilm [23].

Influence du de la surface d'accroche

La force d'attachement du biofilm dépend de la nature du substrat. Ainsi on observé qu'un biofilm de *Listeria monocytogenes* s'est avérée plus fortement adhérant sur l'acier inoxydable que sur deux polymères (PVC et Polyuréthane) [25].

Influence du débit d'écoulement :

Sous flux constant, laminaire, l'érosion est constante et quand il y a des coups de bélier, la pression augmente est il peut alors se produire un phénomène de «sloughing» (en anglais) (des morceaux de biofilm se détachent). Sous flux turbulent le biofilm est moins dense mais les forces d'adhésion sont très élevées et les microcolonies de grosse taille se détachent moins fréquemment que les petits agrégats microbiens.

Influence des produits d'hygiène :

Ni les agents tensio-actifs neutres ni les produits acides ne sont plus efficace que l'eau pour détacher les biofilms de leur substrat. Les produits alcalins favorisent le détachement d'une faible partie de cellules bactériennes. Les divers produits alcalins comparés par Carpentier et Chassaing (1996) ne détachent 10 à 90% des cellules bactériennes d'un biofilms de *Pseudomonas fluorescens* [24]. Cependant on a observé qu'un produit alcalin chloré ne réduisait pas significativement le nombre de cellules bactériennes adhérant à un biofilm qui s'était formé naturellement sur des carreaux, placées sur le sol d'une industrie de fabrication fromagère [23].

La caractéristique majeure qu'ont les micro-organismes après s'être implantés sur une surface est une augmentation de leur résistance aux désinfectants. Cette propriété apparaît dans les heures, voir les minutes suivant l'adhésion des micro-organismes. Une augmentation de ma résistance a été observée sur des biofilms de *Listeria monocytogenes* formés en 4 heures. La résistance aux désinfectants augmente également avec l'âge du biofilm [22].

autres facteurs influençants le détachement des biofilms : les interfaces air/liquide et les chélatants.

Des bulles d'air dans de l'eau peuvent favoriser le détachement des biofilms (Gómez-Suárez *et al.* 2001) [56].

Les chélatants favorisent également le détachement. Il est vrai que les cations peuvent favoriser la formation de microcolonies (Midelet et Carpentier, 2004) [21] en créant des ponts entre les chaînes polyanioniques des exopolymères microbiens. Ainsi si les cations sont chélatés (donc non disponibles), les biofilms pourront se détacher plus facilement (Turakhia et al. 1983) » [122].

3. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude entraînent un relargage des oocystes de *Cryptosporidium* pendant et après une contamination du réseau d'eau ?

3.1. Quelles sont les caractéristiques de ce relargage des oocystes par les différents procédés : distribution du relargage des oocystes (fréquence de relargage, amplitude, temps de séjour dans l'appareil…)

4. Quelle est, selon vous, l'impact des opérations d'entretien et de mise en œuvre des appareils sur le développement ou la survie de la biomasse ?

5. Quels sont les éléments manquants pour évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation des appareils complémentaires lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*?

6. D'après vous, quels sont les différents outils (outils juridiques, administratifs, scientifiques,…) à mettre en place pour évaluer ce risque sanitaire ?

6.1. Peut-on imaginer mettre en place un pilote expérimental pour évaluer la nature du relargage des oocystes par les différents procédés de traitements complémentaires?

QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION DE TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS ET DE PREPARATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE LORS D'UNE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR *CRYPTOSPORIDIUM*

Dans le cadre de la saisine 2003-SA-0337

INTERVIEW LE 08/07/2004 AVEC M. MONTIEL

Interview validé le 10/08/2004

1. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude (identifiés dans le tableau ci-joint) peuvent retenir des oocystes de *Cryptosporidium*?

Réponse : tableau ci-joint

2.1. A votre avis, quelles sont les conditions physiques et biologiques limites (T°, pH, éléments physiques ou biologiques présents dans le milieu….) pour la survie des oocystes de *Crytosporidium* en dehors de l'hôte ?

2.2. Quelle est la capacité, selon vous, des oocystes de *Cryptosporidium* à se développer ou à survivre dans les différents procédés de traitements complémentaires ?

Réponse : tableau ci-joint.

« Les oocystes ne se développent pas dans les appareils de traitements complémentaires. Dans l'environnement ils sont sous formes de kystes. Ils ont besoin de cellules épithéliales de intestin d'un hôte pour assurer leur cycle parasitaire. »

2.3. Pensez-vous que des oocystes puissent survivre ou être piégés dans des biofilms bactériens ? Si oui, combien de temps, selon vous ?

Réponse : « Les oocystes ne se développent pas dans les biofilms. Il n'y a pas d'amplification d'oocystes au niveau des biofilms comme pour les bactéries ou les amibes. Par contre, les oocystes peuvent être retenus par les biofilms. Le risque de relargage d'oocystes via les biofilms lors de retour d'eau est donc possible.

Le biofilm aurait en fait, pour rôle de protéger les oocystes des différents toxiques, désinfectants. Or les oocystes sont déjà, de part leur forme kystique, résistants au chlore, à l'ozone pour les concentrations utilisées en eau potable.

Dans le cas des adoucisseurs, si l'effet biocide de la saumure est avéré, on peut présumer que *Cryptosporidium* puisse être protégé par le biofilm.

En ce qui concerne les filtres à charbon actif mordancé à l'argent, si l'effet biocide de l'argent sur *Cryptosporidium* est reconnu, on peut présumer que l'oocyste piégé dans le biofilms soit protégé. Toutefois l'argent empêchant le développement de biofilms bactériens, *Cryposporidium* serait de toute façon inactivé.

En ce qui concerne les occystes piégés dans le biofilm on peut dire que leur relargage est aléatoire. Il a lieu principalement lors de retour d'eau. »

3. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude entraînent un relargage des oocystes de *Cryptosporidium* pendant et après une contamination du réseau d'eau ?

Réponse : tableau ci-joint

3.1. Quelles sont les caractéristiques de ce relargage des oocystes par les différents procédés : distribution du relargage des oocystes (fréquence de relargage, amplitude, temps de séjour dans l'appareil…)

Réponse : tableau ci-joint

4. Quelle est, selon vous, l'impact des opérations d'entretien et de mise en œuvre des appareils sur le développement ou la survie de la biomasse ?
Réponse : tableau ci-joint

5. Quels sont les éléments manquants pour évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation des appareils complémentaires lors d'une contamination du réseau par *Cryptosporidium*?

Réponse :
Eléments manquants pour évaluer le risque sanitaire :

- « Quelles sont doses d'irradiation UV utilisées à domiciles. Apparemment les doses ne dépasseraient pas 250 J/m^2. Ainsi il n'y aurait pas d'inactivation possible des oocystes dans ce cas. Le risque est d'autant plus accru que la maintenance des lampes est rarement effectuée par la population. »
- « La saumure, aux concentrations utilisée pour la régénération des résines, a-t-elle un effet biocide sur les oocystes de *Cryptosporidium* ? De plus il faudrait voir si on ne pourrait pas utiliser de la soude à pH 13-14 pour tuer les oocystes lors de la régénaration des résines. »
- « L'argent utilisé dans les filtres à charbon actif mordancé à l'argent peut-il avoir un effet biocide sur *Cryptosporidium* ? »

6. D'après vous, quels sont les différents outils (outils juridiques, administratifs, scientifiques,…) à mettre en place pour évaluer ce risque sanitaire ?

Réponse :
« Des recherche scientifiques semblent nécessaires pour connaître les effets biocides des différents appareils. Actuellement on ne possède aucune donnée concernant ces effets dans les différents appareils de traitements complémentaires. »

«Des expérimentations sont également nécessaires pour savoir:

- si l'argent des filtres à charbon est efficace contre *Cryptsporidium*,
- si la saumure, aux concentrations utilisées, permet d'inactiver voir de tuer *Cryptosporidium*, si le risque de relargage des appareils de filtration est réel et quelle est la nature de ce relargage».

6.1. Peut-on imaginer mettre en place un pilote expérimental pour évaluer la nature du relargage des oocystes par les différents procédés de traitements complémentaires?

Réponse :
« Un pilote expérimentale est envisageable pour s'assurer que le relargage des oocystes est réel aux niveau des systèmes de rétention.
Ainsi, on pourrait prévoir des aspirations forcées au niveau des filtres, membranes et résines et observer si on retrouverait ou non des oocystes dans l'eau aspirée. Pour cela on ferait passer, au niveau des appareils, une concentration en oocystes de 1oocsyte/litre ou de 1/100L pendant toute une journée. On noterait ensuite, sur un passage, quelle est la quantité d'oocystes qui est relarguée d'un seul coup. Toutefois il est à noter que cette expérience ne serait pas répétable. On ne pourrait donc pas généraliser les résultats obtenus.
On saurait donc, à l'issue de cette expérience, si le risque existe réellement mais on ne connaîtrait pas la nature du relargage (fréquence, amplitude..). »

« On pourrait également prévoir des expériences pour analyser le relargage des oocystes piégés dans le biofilm. Toutefois le détachement de biofilm est très aléatoire. Il est fonction de la nature du matériau, des bactéries constituant le biofilm, des conditions de pression…Les résultats obtenus n'étant pas répétables on ne pourrait pas les généraliser. »

« Dans les adoucisseur le point critique est la remise en marche après la régénération. (dans la mesure où l'on considère que saumure ne tue pas *Cryptosporidium* lors de la régénération). En effet si le rinçage est insuffisant le risque que les oocystes soient relargués est possible. Pour vérifier cela on pourrait prévoir l'expérimentation suivante :

- On ferait un cycle d'eau contaminée, pendant une semaine, eau niveau de l'adoucisseur.
- Puis on procèderait à une régénération de la résine.
- Enfin, regarderait si dans la 1ère eau puisée après la régénération on retrouverait des *Cryptosporidium*.

L'expérience devrait être répéter 3-4 fois pour valider les résultats. »

7. Recommandations en cas de contamination du réseau d'eau par *Cryptosporidium*.

Réponse :
« Lors de la contamination du réseau par *Cryptosporidium* on devrait :

- débrancher l'adoucisseur pendant l'épidémie. Puis, l'épidémie passée, il serait nécessaire de changer la résine des adoucisseurs du fait du risque de relargage d'oocystes par retour d'eau. De plus, si on s'aperçoit que la saumure, aux concentrations utilisées, est efficace contre *Cryptosporidium* on pourrait prévoir de faire plusieurs cycles de régénération pour tuer les oocystes.
- débrancher l'osmoseur durant la contamination du réseau. Puis lorsque l'eau n'est plus contaminée, on devrait, normalement changer la membrane des osmoseurs car le risque de retour d'eau et donc de relargage d'oocystes est possible. Toutefois il est à noter que le risque est plus faible qu'avec un adoucisseur ou des filtres à eau.
- débrancher les différents systèmes de filtration de l'eau. Puis, l'épidémie passée, il serait nécessaire de changer la cartouche des carafes filtrantes, des filtres à charbon actif, des différents filtres dont les seuils de coupures sont de 1µm et moins. Par mesure de précaution on pourrait demander de changer également les cartouches des filtres dont les seuils de coupures sont supérieurs à 1µm.»

« S'agissant des ballons d'eau chaude, dans la mesure où le réglage et donc la maîtrise de la température peuvent être variables, par souci de précaution, un procédé de vidange peut contribuer à l'élimination d'oocystes éventuellement restés en suspension dans l'eau ou piégés dans les boues au fond du ballon .»

«Durant la contamination de l'eau par le parasites les système de rétention vont retenir les oocystes. Ces appareils, notamment les système de 1 µm et moins, auront un effet préventif durant l'épidémie. Par contre après l'épidémie, si les résines, membranes et filtres ne sont pas changés le risque de relargage est possible. En effet les systèmes de rétention vont concentrer les oocystes. Ils sont donc à risque puisqu'ils peuvent relarguer des oocystes dans le réseau lors de retour d'eau. En cas de contamination du réseau, il semble donc préférable d'utiliser des systèmes qui inactivent les *Cryptosporidium* que des systèmes qui les retiennent.»

8. Gestion préventive en cas de contamination du réseau d'eau par *Cryptosporidium*.

Réponse : « L'installation de disconnecteurs en amont du dispositif de traitement est fortement recommandé dans la mesure où il empêche tout retour d'eau et donc tout relargage d'oocystes dans le réseau. Cependant, dans tous les cas, le changement de résines et de cartouches est nécessaire, une fois l'épidémie passée.
On pourrait également prévoir d'imposer au fabriquant des disconecteurs intégrés au système de traitement. En effet la bonne installation d'un disconnecteur n'est pas forcément aisée pour l'ensemble de la population. »

« Il faudrait également pouvoir gérer l'entretien des différents systèmes en faisant valider l'entretien de ces appareils comme c'est le cas pour les chaudières par exemple. »

« Pour être sûr que les recommandations soient bien appliquées il semble tout d'abord nécessaire de répertorier les appareils au moins au niveau collectif (immeuble hôpitaux…). Des fiches pourraient être élaborées par la DGS pour chaque type d'appareils. Ces fiches comprendraient des informations précises telles que le type d'habitat concerné, le seuil de coupure des appareils, où l'appareil est installé, pour combien de personnes est-il utilisé, quelles sont les modalités d'entretiens en situation normale et en cas d'épidémies…
Ces fiches seraient ensuite envoyées aux DDASS qui seraient en charge de répertorier les appareils à partir des fiches diffusés auprès des ERP et habitat collectif. Ainsi en cas d'épidémies des recommandations d'entretien, d'utilisation seraient envoyés aux établissements qui possèdent ces appareils.
La gestion des appareils individuels par cette méthode étant trop importante de simples recommandations générales par courriers, par messages téléphoniques ou télévisuels seraient mises en place dans un premier temps. »

« Il faudrait également mieux connaître les zones à risques (eaux influencées par eaux de surface). Au titre de l'auto-surveillance, il a été dit (par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique ?) que l'exploitant devait faire une analyse de *Cryptosporidium* par mois (au niveau de l'eau traitée ou de l'eau brute ?), pour les villes de plus de 10 000 habitants. Il y aurait obligation pour les exploitants de donner ces analyses à la D.D.A.S.S. La D.G.S. pourrait alors faire un regroupement des données recueillies par les D.D.A.S.S., et ainsi établir la prévalence des oocystes dans l'eau dans les différentes régions de France. On saurait ainsi où accroître la surveillance, améliorer les moyens de traitement…»

« L'obligation de moyens et de surveillance semble plus adéquat que l'obligation de résultats (normes) en cas de contamination du réseau par *Cryptosporidium*. En effet une fois les risques identifiés (eaux où forte teneur en oocystes, appareils sujet au relargage, mauvaise connexion du réseau…), on peut mettre en place les moyens correspondants (recommandation à la population, mise en place de clapet anti-retour au sein des appareils, réparation de fuite…). Des obligations de résultats exigent des analyses dont le prix est très élevé (450 euros ; 1 disconnecteur =1 analyse). De plus technique d'analyse pour l'identification des *Cryptosporidium* apparaît difficilement applicable en routine. »

9. Remarques

« Les ozoneurs et distillateurs sont peu voir pas utilisés en France. Les lampes utilisées dans l'habitat domestique pour les traitements UV présentent des puissances de l'ordre de 25 J/m^2 en général (< 400J/m^2 nécessaire pour tuer les oocystes). »

« En habitat individuel ou collectif les filtres utilisées présentent généralement des seuils de coupure de filtre 5 à 10 µm. En effet pour des seuils inférieurs les filtres colmatent très vite et il faudrait très souvent les remplacer. Aussi, comme on la vue à la question 1 seuls des filtre de seuils de coupure inférieurs à1µm peuvent retenir les oocystes. »
« Il est à noter que si les recommandations explicitées dans les notices sont suivies par la population ces appareils ne posent pas de problèmes à priori. »

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS	**Résines échangeuses d'ions** (adoucisseur, filtres à résines, carafes…)	Une partie des oocystes peut être retenu du fait de leur taille (4-6µm). Toutefois quand on utilise un adoucisseur toute l'eau n'est pas adoucie, une partie est by passée pour permettre un apport en calcium dans l'eau. En effet l'adoucisseur enlève la totalité des ions calcium or cela est incompatible avec la législation en vigueur.	Oui. Une partie des *Cryptosporidium* de l'eau du réseau est retenue mais non tuée.	Risque de relargage des oocystes retenus par retour d'eau lors de la régénération	Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Lors de la régénération des résines on fait passer une saumure à contre courant à travers la résine. Il serait nécessaire étudier si la saumure aurait une action biocide sur la survie des oocystes aux concentrations utilisées. Pour cela il faut tout d'abord connaître les concentrations de saumure utilisées pour la régénération, puis observer si à cette concentration les oocystes sont susceptibles d'être tués ou non.
	Procédés membranaires (osmoseur)	Il y a rétention des oocystes, sauf si il y a présence de fuites (mauvaise étanchéité des joints, hautes pressions…). On estime les fuites en osmose inverse de l'ordre de 1 à 2%.	Oui, les oocystes retenus survivent.	Risque de relargage des oocystes retenus si il y a un retour d'eau.	Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Sans objet.

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
	Distillation	Pas de risque de rétention mais inactivation possible des oocystes.	A 70°C et pour un temps de 5 min l'oocystes est tué. En distillation, soit on travaille à 100°C et donc il n'y a pas de survie possible des oocystes, soit on travaille à basse pression et dans ce cas on a un risque de survie des oocystes.	Pas de relargage des oocytes puisqu'ils ne sont pas retenus.	Sans objet.	
	Filtration mécanique (fibres creuses, céramiques…)	Il y a rétention des oocystes pour des filtres de seuils de coupure de 0,5 à 1µm. Pour des seuils de coupure supérieurs les oocystes ne sont pas retenus.	Oui, les oocystes retenus survivent.	Pour les filtres de 1µm et moins, installés à l'entrée de l'habitation, si on a un retour d'eau on aura un risque de relargage des oocystes dans le réseau publique sauf si un disconecteur est installée en amont du filtre. Pour les filtres de 1µm et moins, installés à un point d'usage de l'habitation (ex : robinet de cuisine) on a, lors d'un retour d'eau, un risque de relargage des oocystes vers les autres points d'usage de l'habitation.	Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Sans objet.

PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
Filtration sur charbon actif	2 types de Filtre à charbon actif existent: • C.A.G. mordancé à l'argent : pas de connaissance sur l'effet de l'argent sur la survie des oocystes. On considère qu'il n'y a pas de rétention.. • CAG entouré d'un filtre de 0,45µm : on a dans ce cas une rétention des oocystes. Si le filtre à charbon actif n'est pas mordancé à l'argent ou ne possède pas de filtre de 0,45µm il n'y pas de rétention possible des oocystes.	Oui, les oocystes retenus survivent.	Risque de relargage des oocystes retenus si il y a un retour d'eau	Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Sans objet.
Traitement UV	Pas de rétention mais inactivation des oocystes pour des valeurs d'au moins 400 J/m^2.	Si la puissance des lampes est suffisante les oocystes sont tués.	Pas de relargage.	Sans objet.	Sans objet.
Produits chimiques (chlorateur, ozoneur…)	Pas de rétention. Aux doses utilisées pas on n'observe pas d'effets d'inactivation des chlorateurs et ozoneurs sur les oocystes.	Les oocystes survivent. La concentration en chlore libre qui serait nécessaire pour réduire la viabilité des oocystes présents à zéro est tout à fait incompatible avec la consommation humaine de l'eau.	Pas de relargage.	Sans objet.	Sans objet.
Conditionnement par adjonction de produits chimiques (silicates,phosphates…)	Pas de rétention. Aucun effet sur les oocystes. Pas de changement de pH pour les doses ajoutées : 10mg/l de silice, 5mg/l de P_2O_5.	Oui, les oocystes retenus survivent.	Pas de relargage.	Sans objet.	Sans objet.

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
GENERATEURS D'ECS	**Générateurs instantanés** (échangeurs…)	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température est suffisante les oocystes sont tués.	Pour des températures de moins de 70°C, on a un risque d'accumulation d'oocystes possible dans les boues (dépôts de calcaire). Ces oocystes peuvent être remis en suspension lors d'un soutirage important.	Pas d'observations.	Sans objet.
	Ballons	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température est suffisante les oocystes sont tués.	Pour des températures de moins de 70°C, on a un risque d'accumulation d'oocystes possible dans les boues (dépôts de calcaire). Ces oocystes peuvent être remis en suspension lors d'un soutirage important.	Pas d'observations.	Sans objet.
	Chauffe eau	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température est suffisante les oocystes sont tués.	Pour des températures de moins de 70°C, on a un risque d'accumulation d'oocystes possible dans les boues (dépôts de calcaire). Ces oocystes peuvent être remis en suspension lors d'un soutirage important.	Pas d'observations.	Sans objet.
	Chaudière	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température est suffisante les oocystes sont tués.	Pour des températures de moins de 70°C, on a un risque d'accumulation d'oocystes possible dans les boues (dépôts de calcaire). Ces oocystes peuvent être remis en suspension lors d'un soutirage important.	Pas d'observations.	Sans objet.

QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION DE TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS ET DE PREPARATEURS D'EAU CHAUDE SANITAIRE LORS D'UNE CONTAMINATION DU RESEAU D'EAU PAR *CRYPTOSPORIDIUM*

Dans le cadre de la saisine 2003-SA-0337

INTERVIEW LE 20/07/2004 AVEC M. DEROUIN

Interview validé le 04/08/2004

Inactivation, rétention ou relargage à partir de appareils de traitement de l'eau:

« Les oocystes ne se multiplient pas dans les appareils de traitement car ils sont sous forme kystique. L'enkystement assure au parasite une survie dans des conditions environnementales défavorables. Les oocystes ont donc besoin de retrouver des conditions adéquates à leur développement (cellules hôtes intestinales de mammifères à sang chaud) pour sortir de leur état de latence et effectuer leur cycle parasitaire. »

« D'une façon générale, il est très difficile de répondre aux différentes questions qu'on peut se poser sur ce sujet car aucune étude spécifique n'a été réalisée sur ce sujet. On peut simplement se baser sur les données connues de résistance des oocystes à la chaleur et sur les facteurs physique de rétention, liés à la taille des oocystes. »

1. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude (identifiés dans le tableau ci-joint) peuvent retenir des oocystes de Cryptosporidium ?

Réponse : tableau ci-joint

2.1. A votre avis, quelles sont les conditions physiques et biologiques limites (T°, pH, éléments physiques ou biologiques présents dans le milieu….) pour la survie des oocystes de Crytosporidium en dehors de l'hôte?

2.2. Quelle est la capacité, selon vous, des oocystes de Cryptosporidium à se développer ou à survivre dans les différents procédés de traitements complémentaires ?

Réponse : tableau ci-joint

2.3. Pensez-vous que des oocystes puissent survivre ou être piégés dans des biofilms bactériens ? Si oui, combien de temps, selon vous ?

Réponse : « les oocystes ne se développent pas dans les biofilms. Par contre l'hypothèse de la rétention des oocystes par les biofilms est tout à fait vraisemblable. »

3. D'après vous, dans quelle mesure les traitements complémentaires et les préparateurs d'eau chaude entraînent un relargage des oocystes de *Cryptosporidium* pendant et après une contamination du réseau d'eau ?

Réponse : tableau ci-joint

3.1. Quelles sont les caractéristiques de ce relargage des oocystes par les différents procédés : distribution du relargage des oocystes (fréquence de relargage, amplitude, temps de séjour dans l'appareil…)

Réponse : tableau ci-joint

4. Quelle est, selon vous, l'impact des opérations d'entretien et de mise en œuvre des appareils sur le développement ou la survie de la biomasse ?
Réponse : tableau ci-joint

5. Quels sont les éléments manquants pour évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation des appareils complémentaires lors d'une contamination du réseau par Cryptosporidium?

Réponse :
« L'évaluation précise de la capacité de destruction ou de rétention des appareils vis à vis de *Cryptosporidium* devrait s'appuyer sur une bonne évaluation expérimentale, portant sur la morphologie des parasites, leur viabilité et infectiosité. Or actuellement on ne dispose pas de ce type de données, car les modèles d'étude expérimentale sont complexes et maîtrisés par très peu de laboratoire (culture cellulaire, inoculation à l'animal).
De plus, les données sur les niveaux de contamination par Cryptosporidium des eaux superficielles et des eaux karstiques en France sont insuffisantes. »

Il y a également un manque de données épidémiologiques sur l'incidence des cryptosporidfioses, qui rend difficile toute étude précise des facteurs de risque. »

6. D'après vous, quels sont les différents outils (outils juridiques, administratifs, scientifiques,…) à mettre en place pour évaluer ce risque sanitaire ?

Réponse :
« L'assurance que les appareils ont une capacité de rétention ou de destruction des oocystes repose sur une bonne évaluation expérimentale.

Un système de normalisation type NSF, garantissant l'efficacité de l'appareil vis à vis de *Cryptosporidium* pourrait être mis en place. »

6.1. Peut-on imaginer mettre en place un pilote expérimental pour évaluer la nature du relargage des oocystes par les différents procédés de traitements complémentaires?

Réponse :
« Des expérimentations sont envisageables. Pour cela il convient d'étudier les conditions de température, pH, etc…de l'appareil. Puis on observerait expérimentalement le comportement des oocystes dans ces mêmes conditions en laboratoire. Un travail sur l'efficacité vis à vis de *Cryptosporidium* des différents agents physiques et chimiques utilisés dans les appareils complémentaires est possible.

Toutefois la difficulté résidera dans la complexité des méthodes analytiques à mettre en oeuvre. En effet si on veut simplement étudier la viabilité on pourra utiliser technique assez simple : la coloration d'acides nucléiques; par contre pour évaluer l'infectiosité on devra utiliser des techniques plus complexes comme la culture cellulaires l'inoculation d'oocystes à des souriceaux nouveaux nés.

Pour étudier le relargage des oocystes via des biofilm bactérien là encore des difficultés de comptage apparaissent. En effet, si les méthodes de détection par microscoppie optique ou par marquage antigénique sont réalisables pour des fortes concentrations en oocystes dans l'eau, elles le sont beaucoup moins lors d'une faible concentration où il est nécessaire de procéder à des purifications. De plus les coûts d'analyse sont très élevés (500 euro par analyse). Il est à noter que des méthode de détection d'ADN parasitaire par PCR-RT seront disponibles dans les années à venir »

7. Recommandations en cas de contamination du réseau d'eau par Cryptosporidium.

Réponse :
« Pour éviter toute contamination des personnes par des oocystes piégés dans des filtres ou des résines il convient de les changer dès la connaissance de l'épidémie et à la fin de l'épidémie. De plus il serait envisageable de procéder à une montée de température (choc thermique : plus de 60°C pendant 5 à 10 minutes) pour éviter tout risque via les générateurs d'eau chaude.

Dans le cas d'une contamination par le réseau il faudrait veiller à ne pas oublier de décontaminer certains types d'appareils tels que les fontaines réfrigérantes, les machines à glaces ou encore les réfrigérateurs alimentées par l'eau du réseau et qui possèdent parfois des filtres internes susceptibles de retenir les oocystes.

Indépendamment de ces mesures techniques, il est important que les personnes plus particulièrement sensibles à la cryptosporidiose (patients infectés par le VIH, enfant, personnes âgées) respectent strictement les mesures d'hygiène de base et ne boivent que de l'eau embouteillée (cf circulaire DGS à ce sujet). »

8. Gestion préventive vis à vis du risque de contamination du réseau par *Cryptosporidium*.

Réponse :
« D'une manière générale, la qualité de l'évaluation du risque, sa gestion et la définition de mesures préventives adaptées et efficaces repose sur une bonne identification du danger, une connaissance de sa diffusion, une appréciation de l'exposition et des effets. Or, le rapport de l'Afssa met clairement en évidence un manque de données sur ces différents points, en France.
Quatre démarches complémentaires semblent prioritaires pour améliorer et renforcer leur recueil.
- la diffusion d'une large information sur *Cryptosporidium sp.* et sur la cryptosporidiose ;
- la mise en place d'un réseau de laboratoires de référence ;
- la conduite d'enquêtes épidémiologiques, chez l'Homme et chez l'animal ;
- le recueil de données sur la **contamination de l'eau** et des aliments par les cryptosporidies. »

« Peu de données sont actuellement disponibles directement sur le niveau de contamination de l'eau en France car, bien que des recherches de cryptosporidies dans l'eau soient pratiquées à titre d'étude ou de surveillance des captages ou lors de la production par les responsables des installations, elles ne sont pas répertoriées dans la base de données SISE-EAUX (Système d'Information en Santé Environnement sur les Eaux) par les DDASS.
Peu de déterminations ont été effectuées dans le cadre d'un renforcement du contrôle sanitaire réalisé par les DDASS. La mise en application du décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 devrait améliorer ce recueil de données car la recherche de micro-organismes pathogènes et notamment de *Cryptosporidium sp.* est prévue dans les eaux superficielles, en cas de présence de bactéries sulfito-réductrices. Par ailleurs, les programmes de surveillance prévus par l'article 15 – II du décret devraient renforcer le dispositif de suivi des eaux à risque. Par ailleurs, le recueil de données microbiologiques, environnementales et épidémiologiques lors d'accidents de contamination du réseau de distribution devrait pouvoir se faire en temps réel de façon à rendre possible la mise en œuvre d'une analyse de la situation fiable et exploitable pour les gestionnaires du risque (voir VII. - 2.6.2). L'ensemble des données recueillies par les DDASS et par les distributeurs d'eau devrait être regroupé dans la base de données SISE-EAUX. Elles permettront une interprétation locale en fonction des différentes informations environnementales et sanitaires concernant les cryptosporidies, et une exploitation nationale. » [14, rapport Afssa]

Sur le plan pratique vis à vis du risque lié aux appareils il est nécessaire, comme expliciter précédemment (6.1.), de proposer des protocoles d'évaluation expérimentale de l'efficacité des principales conditions physico-chimique auxquelles sont exposés les oocystes dans les appareils sur leur viabilité/infectiosité: exposition plus ou moins longue à des températures, choc thermique, détergents, mesures d'entretien habituellement utilisés….

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
TRAITEMENTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS	**Résines échangeuses d'ions** (adoucisseur, filtres à résines, carafes…)	Une partie des oocystes peut être retenu du fait de leur taille (4-6µm) si les pores des résines sont inférieurs au µm.	Oui. Une partie des *Cryptosporidium* de l'eau du réseau est retenue mais non tuée.	Un relargage des oocystes retenus est possible.	Pas d'idées.	Lors de la régénération des résines on utilise de la une saumure Il serait nécessaire étudier si la saumure aurait une action biocide sur la survie des oocystes aux concentrations utilisées.
	Procédés membranaires (osmoseur)	Il y a rétention des oocystes, sauf si il y a présence de fuites	Oui, les oocystes retenus survivent.	Un relargage des oocystes retenus est possible.	Lors d'un retour d'eau, on peut avoir un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Pas d'idées.
	Distillation	Pas de risque de rétention mais destruction des oocystes.	A 70°C et pour un temps de 5 min l'oocystes est tué. En distillation, soit on travaille à 100°C et donc il n'y a pas de survie possible des oocystes.	Pas de relargage des oocytes puisqu'ils ne sont pas retenus.	Sans objet.	Sans objet.
	Filtration mécanique (fibres creuses, céramiques…)	Il y a rétention des oocystes pour des filtres de seuils de coupure inférieurs à 1µm. Pour des seuils de coupure supérieurs les oocystes sont partiellement retenus.	Oui, les oocystes retenus survivent.	Un relargage des oocystes retenus est possible.	En situation normale des oocystes retenus on peut penser que les oocystes puissent être relargués de façon continu au point d'usage. Une fois saturé, le milieu relarguerait. Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Pas d'idées.

PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
Filtration sur charbon actif	A priori, les oocystes ne seraient pas retenus par les filtres à charbon actif ou alors peut être partiellement.	Si les oocystes sont retenus, ils pourraient survivre sur charbon actif.	Un relargage des oocystes retenus serait envisageable.	En situation normale on peut penser que des oocystes qui serait momentanément piégés puissent être relargués de façon continu au point d'usage. Lors d'un retour d'eau, on a un relargage massif d'oocystes pendant un laps de temps très court (pic d'oocystes).	Pas d'idées.
Traitement UV	Pas de rétention mais inactivation des oocystes pour des valeurs d'au moins 400 J/m^2.	Si la puissance des lampes est suffisante les oocystes sont tués.	Pas de relargage.	Sans objet.	Sans objet.
Produits chimiques (chlorateur, ozoneur…)	Pas de rétention mais inactivation pour de fortes doses. Aux doses utilisées pas on n'observe pas d'effets d'inactivation des chlorateurs et ozoneurs sur les oocystes.	Les oocystes survivent. La concentration en chlore libre qui serait nécessaire pour réduire la viabilité des oocystes présents à zéro est tout à fait incompatible avec la consommation humaine de l'eau.	Pas de relargage.	Sans objet.	Sans objet.
Conditionnement par adjonction de produits chimiques (silicates, polyphosphates…)	Pas d'effet.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.
Autres procédés					

	PROCEDES	QUESTION 1 Rétention des oocystes	QUESTION 2.2 Survie des oocystes	QUESTION 3 Relargage des oocystes	QUESTION 3.3. Caractéristiques du relargage	QUESTION 4 Impact des opérations d'entretien
GENERATEURS D'ECS	**Générateurs instantanés** (échangeurs…)	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température et le temps de contact sont suffisants les oocystes sont tués. La destruction est très probable.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.
	Ballons	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température et le temps de contact sont suffisants les oocystes sont tués. La destruction est très probable.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.
	Chauffe eau	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température et le temps de contact sont suffisants les oocystes sont tués. La destruction est très probable.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.
	Chaudière	Pas de rétention. Pour des températures de 70°C et plus pendant 5 à 10 min les oocystes sont tués. Pour des valeurs de 50°C ou 60°C il n'y a pas d'effets sur les oocystes.	Si la température et le temps de contact sont suffisants les oocystes sont tués. La destruction est très probable.	Sans objet.	Sans objet.	Sans objet.
	Autres procédés					