

anses

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines

## Partie II : bains à remous

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Janvier 2013

Édition scientifique

Édition modifiée en mars 2014





**anses**

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines

## Partie II : bains à remous

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Janvier 2013

Édition scientifique

Édition modifiée en mars 2014



**AVIS**  
**de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,**  
**de l'environnement et du travail**

relatif aux « **Éléments d'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines- Partie 2 : bains à remous** »

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont rendus publics.*

---

L'Agence a été saisie en 2006 par les ministères en charge de la santé et de l'environnement pour la réalisation de l'évaluation des risques sanitaires (ERS) liés aux baignades publiques, non encadrées par la directive européenne 2006/7/CE relative à la qualité des eaux de baignade. Il s'agit notamment :

- ▶ « des bassins de natation et de cure ;
- ▶ des eaux captives qui sont soumises à un traitement ou sont utilisées à des fins thérapeutiques ;
- ▶ des eaux captives artificielles séparées des eaux de surface et des eaux souterraines. »

## **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

En accord avec les ministères de tutelles, l'expertise a été scindée en trois ERS :

1. l'ERS liés aux eaux captives séparées des eaux de surface et des eaux souterraines : ces travaux ont fait l'objet d'un rapport et d'un avis publiés en juillet 2009<sup>1</sup> ;
2. l'ERS liés aux piscines à usage collectif et relevant de la réglementation française : ces travaux ont fait l'objet d'un rapport et d'un avis publiés en juin 2010<sup>2</sup> ;

---

<sup>1</sup> Évaluation des risques liés aux baignades artificielles, rapport et avis de l'Afsset, 17 juillet 2009.

### 3. l'ERS liés aux piscines dites « atypiques ».

L'ERS liés aux piscines atypiques est rendue nécessaire par le développement, ces dernières années, de nouvelles pratiques répondant à une demande croissante du public en termes de bien être, de ludisme et de remise en forme. En 2010, ces nouveaux types de piscines représentent plus de 35% du parc des piscines publiques en France.

Dans le cadre de cette troisième partie, l'expertise s'est concentrée sur les risques sanitaires spécifiques liés aux baignades à remous. Ces bassins se distinguent des piscines réglementées par leur configuration et leur mode de fonctionnement :

- ▶ un faible volume d'eau ;
- ▶ une forte fréquentation par rapport au volume ;
- ▶ une fréquentation discontinue ;
- ▶ une promiscuité plus importante des baigneurs ;
- ▶ une aération de l'eau par bullage ;
- ▶ une concentration fluctuante en désinfectant ;
- ▶ une température de l'eau élevée.

L'objectif de la demande est d'établir pour ce type de bassin particulier :

- ▶ des règles d'hygiène, de conception et de maintenance des installations ;
- ▶ une liste de produits et procédés de traitements envisageables, ainsi que leurs modalités d'utilisation ;
- ▶ des modalités de surveillance et de contrôle ;
- ▶ des valeurs limites de qualité de l'eau et de l'air.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Eaux ». L'Agence a confié l'expertise au groupe de travail « Piscines atypiques ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques.

Pour mener à bien cette évaluation, le groupe d'experts s'est appuyé sur une revue bibliographique internationale réalisée sur les sites Pubmed, Sciencedirect et Scopus entre avril 2010 et décembre 2011. Ces recherches documentaires ont porté principalement sur l'identification des dangers physico-chimiques et microbiologiques spécifiques aux baignades à remous, ainsi que sur ceux liés à la désinfection de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle (EMN). L'analyse a été complétée par :

1. une exploitation des données nationales de 2009 du contrôle sanitaire de la qualité des eaux des baignades à remous (Système Information en Santé-Environnement sur les eaux (SISE-Eaux) du ministère en charge de la santé) et d'études d'exposition<sup>3</sup>;

<sup>2</sup> Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines : partie 1, piscines réglementées, rapport et avis de l'Afsset, 9 juin 2010.

<sup>3</sup> Afsset (2009 a). Convention de recherche et développement : Caractérisation microbiologique et physico-chimique des piscines atypiques sur le territoire français. Rapport non publié.

Afsset (2009b). Convention de recherche et développement : Caractérisation microbiologique et physico-chimique des piscines d'eau de mer sur le territoire français. Rapport non publié.

2. l'audition d'industriels et de gestionnaires d'établissements pour conforter l'état de la situation à l'échelle nationale.

Le rapport final issu de l'expertise collective et approuvé par le CES « Eaux » le 3 juillet 2012 constitue la base du présent avis. L'analyse et les conclusions du CES ont été adoptées lors de la séance du CES « Eaux » du 4 septembre 2012.

### **3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES**

Au-delà des risques physiques (noyades, chutes), les dangers auxquels peuvent être exposés les usagers des bains à remous et le personnel sont chimiques et microbiologiques. La majorité de ces dangers a été décrite dans le rapport relatif aux piscines réglementées. Toutefois, les spécificités des bains à remous et/ou la nature de l'eau d'alimentation des bassins peuvent modifier la hiérarchie des dangers et/ou être à l'origine de dangers supplémentaires.

#### ***Dangers spécifiques***

La température élevée de l'eau de la majorité des bains à remous est identifiée comme un danger. L'organisation mondiale de la santé (OMS) rapporte en effet plusieurs cas de décès suite à la fréquentation de bains à remous présentant des températures de l'eau élevées (43 °C). Par ailleurs, des études ont montré que la baignade en eau chaude pratiquée par des femmes enceintes pouvait conduire à des malformations du fœtus et à des avortements spontanés. De plus, la température est un facteur de danger indirect, puisqu'une température élevée de l'eau accélère les vitesses de réaction entre les produits de désinfection et la matière organique apportée par les baigneurs. La formation de sous-produits de désinfection (SPD) est alors favorisée tout comme la volatilisation des SPD volatils et semi-volatils. La présence de dispositifs de bullage engendre la formation d'aérosols lorsque le bain à remous est en fonctionnement. Ces aérosols, qui peuvent contenir des SPD semi-volatils et/ou non volatils ainsi que certains micro-organismes, sont susceptibles d'être inhalés par les baigneurs et le personnel, et peuvent engendrer des pathologies respiratoires et pulmonaires.

La conception et les conditions d'utilisation des bains à remous favorisent la formation des biofilms sur les parois et le fond des bassins et sur toutes les composantes de l'installation. Une libération de micro-organismes dans l'eau par érosion ou par arrachage de biofilm est donc accentuée dans ce type de bassin.

#### ***Dangers physico-chimiques***

Si l'ensemble des SPD présents dans l'eau et l'air des piscines réglementées alimentées par de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) sont susceptibles d'être retrouvés dans les bains à remous quelle que soit l'origine de l'eau, les spécificités de ces bassins créent des conditions favorables à la formation de certains SPD notamment la trichloramine, des trihalométhanes, des acides haloacétiques et des haloacétonitriles.

Par ailleurs, des SPD spécifiques apparaissent dans le cas des bassins alimentés par de l'eau de mer ou de l'EMN après chloration.

S'agissant des bassins alimentés par de l'eau de mer, la présence d'ions bromure et d'ions iodure va orienter la production de composés bromés et iodés dont la toxicité est connue pour être supérieure à celles des composés chlorés et ceci, quelle que soit la famille de SPD à laquelle ils appartiennent.

S'agissant des bains à remous alimentés par des EMN, la présence de certains éléments chimiques pourrait entraîner la formation de SPD autres que ceux habituellement

retrouvés dans l'eau et l'air des bains à remous alimentés par de l'EDCH. L'absence de données d'exposition dans ce type de bassin ne permet pas cependant à ce jour d'en établir une liste exhaustive. De plus, la présence de certains éléments réducteurs engendre une consommation accrue de désinfectant, aboutissant à une formation plus importante de SPD.

### **Dangers microbiologiques**

La plage de concentration des désinfectants autorisés en piscine prévue dans la réglementation actuelle est également efficace vis-à-vis des micro-organismes dans l'eau des bains à remous. Toutefois, dans le cas des bains à remous, il s'avère souvent difficile de maintenir de façon permanente une teneur en désinfectant satisfaisante du fait de la température de l'eau, de l'agitation de cette dernière et du faible volume d'eau rapporté au nombre d'usagers fréquentant ces bassins.

Par ailleurs, certains micro-organismes (mycobactéries non tuberculeuses (MNT), amibes libres, légionelles, etc.) possèdent une résistance accrue au chlore et peuvent survivre même lorsque la chloration du bain à remous est correcte et constante.

Enfin, certains micro-organismes trouvent dans l'eau, l'air et les surfaces des bains à remous, des conditions très favorables à leur survie et une attention particulière doit être portée sur certains micro-organismes qui sont à l'origine de pathologies importantes: *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* (notamment dans l'eau de mer), des MNT et des amibes libres.

### **Autres dangers**

Les produits de traitement utilisés pour les eaux de bains à remous sont identiques à ceux utilisés pour les piscines réglementées. Cependant, les conditions particulières d'utilisation des bains à remous (température et agitation de l'eau, concentration fluctuante en désinfectant) peuvent accroître les dangers liés à ces produits et à leurs impuretés ainsi que leurs éventuelles interactions avec les matériaux constituant le bassin.

Le bois et l'acier inoxydable sont les matériaux principalement utilisés pour remplacer la céramique ou les feuilles d'étanchéité (liner) des coques des bains à remous. La compatibilité de ces matériaux avec les différents types d'eau pouvant alimenter les bassins (notamment l'eau de mer) doit être vérifiée. Certaines eaux peuvent être corrosives et provoquer des dégradations des matériaux qui sont susceptibles de relarguer des substances toxiques dans l'eau.

Afin de diversifier leurs activités et d'attirer une nouvelle clientèle, de plus en plus d'établissements (centre aquatique, hôtels, instituts de beauté, etc.) proposent des bains à remous dans lesquels sont ajoutés différents additifs (huiles essentielles, lait, miel, chocolat, colorants, etc.). Les résidus de ces composés peuvent se déposer dans le circuit hydraulique favorisant le développement de biofilms et l'encrassement. En outre, l'interaction de ces additifs avec les produits de désinfection n'est pas connue tout comme leurs éventuels effets sur la santé, en particulier dans les conditions d'utilisation spécifiques des bains à remous.

### **Recommandations**

L'insuffisance de données relative aux dangers microbiologiques ou chimiques et aux expositions n'a pas permis de quantifier le niveau de risque sanitaire dans des conditions méthodologiques satisfaisantes. Toutefois, il ressort de la revue bibliographique que la voie respiratoire est la voie d'exposition majeure pour les usagers des bains à remous, suivie de la voie cutanée.



Un ensemble de mesures en vue de limiter l'exposition des baigneurs et du personnel aux dangers identifiés est proposé ci-dessous :

- ▶ l'hygiène des baigneurs ;
- ▶ les règles d'usage ;
- ▶ la gestion des bains à remous (qualité de l'eau et de l'air).

#### **Mesures visant les baigneurs**

L'hygiène des baigneurs fréquentant les bains à remous a un impact encore plus important que dans le cas des piscines réglementées sur la qualité de l'eau et de l'air. La sensibilisation des usagers et des exploitants aux règles d'hygiène corporelles élémentaires est essentielle.

Les règles simples listées ci-dessous permettent de réduire les contaminations de l'eau et de l'air et la consommation de produits de traitement de l'eau :

- ▶ respecter les zones de déchaussage spécifiques ce qui permet de réduire considérablement la zone de chevauchement pieds nus / pieds chaussés ;
- ▶ utiliser un maillot de bain exclusivement réservé à cet effet ;
- ▶ porter un bonnet de bain ou, au minimum, s'attacher les cheveux ;
- ▶ respecter les précautions intimes avant la baignade (passage aux toilettes) ;
- ▶ interdire l'utilisation de produits cosmétiques ;
- ▶ obliger la prise d'une douche savonnée et le passage par un pédiluve avant d'accéder aux bassins.

Par ailleurs, le port des lentilles de contact est déconseillé pendant la baignade dans un bain à remous. En effet, la présence d'aérosols et de micro-gouttelettes peut favoriser les risques de conjonctivites ou de kératites impliquant des micro-organismes tels que *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acanthamoeba*. En outre, au regard des risques identifiés, les lentilles de contact peuvent être une source d'aggravation de pathologies oculaires liées aux effets irritants de certains sous-produits de désinfection présents dans l'eau et/ou dans l'air.

Enfin, compte tenu de la faible profondeur des bains à remous, la fréquentation maximale instantanée (FMI) devrait être exprimée en baigneurs par unité de volume (et non par unité de surface).

#### **Agencement des locaux**

Les mesures liées à l'agencement, l'entretien et le nettoyage des locaux proposées dans le rapport de l'Agence intitulé « Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines : partie 1, piscines réglementées » qui permettent de limiter les salissures et faciliter les opérations d'entretien et de nettoyage sont également préconisées dans le cas des bains à remous.

Par ailleurs, compte tenu des spécificités de ces bassins, il est recommandé :

- ▶ de les surélever légèrement par rapport au niveau du sol afin d'éviter tout ruissellement d'eau sale vers le bain à remous et de prévoir des pentes de sols favorisant l'écoulement des eaux de ruissellement et de lavage vers des rigoles

spécifiques ou des bondes d'évacuation pour éviter toute stagnation ou déversement d'eau dans les baignoires ;

- ▶ de nettoyer et désinfecter les parois et le fond du bassin lors de sa vidange quotidienne; les circuits des systèmes de bullages et d'alimentation en eau doivent subir le même traitement.

Les matériaux entrant en contact avec l'eau (parois, circuit hydraulique) ne doivent pas influencer la qualité de l'eau. Ils doivent être inertes par rapport aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation du bassin et ne doivent pas provoquer de multiplication des micro-organismes. Le choix du matériau doit être déterminé en fonction notamment de l'agressivité de l'eau et de l'action corrosive liées aux produits et procédés utilisés (traitement, désinfection, nettoyage). Il est recommandé que les revêtements en bois ne soient pas autorisés en raison de l'absence de données relatives à leur vieillissement, aux éventuelles interactions avec le chlore et de leurs aptitudes à favoriser la croissance de certains micro-organismes.

### **Règles d'usage**

La température de l'eau des baignoires à remous doit être de 33 °C avec une valeur maximale impérative de 36 °C.

La durée du bain doit être au maximum de 15 minutes comme le préconise la circulaire DGS/EA4/2010 289 du 27 juillet 2010 relative à la prévention des risques infectieux dans les baignoires à remous.

L'eau des baignoires à remous doit être exempte d'additifs (huiles essentielles, lait, miel, chocolat, etc.).

Toute personne fréquentant un bain à remous doit être capable de maintenir la tête hors de l'eau en position assise. De fait, l'accès aux baignoires à remous aux enfants de moins de 10 ans est déconseillé.

Enfin, il convient d'interdire l'accès aux baignoires à remous aux personnes présentant des plaies non entièrement cicatrisées. De même, un avis médical apparaît essentiel pour les sujets immuno-déprimés avant toute fréquentation de ce type d'équipement.

### **Traitement de l'eau**

Le traitement et la circulation de l'eau dans le bassin doit permettre de garantir la qualité de l'eau. Pour maintenir cette bonne qualité, les experts recommandent que :

- ▶ l'installation d'un bac tampon et d'un pédiluve soient rendues obligatoires ;
- ▶ l'installation d'une régulation automatique de la désinfection et du pH couplée à une surveillance renforcée soit également rendue obligatoire ;
- ▶ la cadence de recyclage de l'eau soit de 15 minutes ;
- ▶ les pédiluves, les bassins et les hydrojets soient vidangés quotidiennement. La vidange doit être accompagnée d'un nettoyage et d'une désinfection complète des installations. Les eaux de vidanges doivent être dirigées vers le réseau d'eaux pluviales quelle que soit l'origine de l'eau d'alimentation ;
- ▶ les réactifs utilisés lors du traitement de l'eau des baignoires à remous respectent les critères de pureté définis dans les normes européennes et françaises relatives à la qualité des produits de traitement des eaux de piscine ;

- ▶ l'air utilisé pour pulser l'eau soit de l'air neuf dont la prise est située à l'extérieur et éloignée de sources de contamination.

Compte tenu de la durée de recyclage recommandée et de la vidange quotidienne, l'apport d'eau neuve spécifique aux bains à remous n'est pas nécessaire.

La demande d'évolution du cadre réglementaire encadrant l'étape de filtration est réitérée comme dans le rapport relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines réglementées.

Des modifications importantes de certaines installations seront nécessaires compte tenu des recommandations préconisées en termes de traitement de l'eau.

### *Paramètres de qualité de l'eau*

S'agissant de la qualité de la ressource, une évaluation du risque doit être réalisée avant l'ouverture d'un établissement souhaitant utiliser de l'eau autre que celle destinée à la consommation humaine. Cette démarche permettra de vérifier notamment les éventuelles interactions entre les produits de traitement de l'eau et l'eau elle-même dans le but de proposer la mise en place d'un traitement adapté.

S'agissant du contrôle sanitaire relatif à la qualité des eaux des bains à remous, il est proposé :

- ▶ de recommander les mêmes préconisations que celles proposées dans le rapport relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines réglementées concernant les paramètres : carbone organique total (COT), turbidité, teneur en chlore combiné, pH, micro-organismes revivifiables à 36°C, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Annexe 1) ;
- ▶ d'abaisser la valeur limite en trihalométhanes (THM) dans l'eau à 20 µg.L<sup>-1</sup> ;
- ▶ d'étendre la valeur impérative « absence dans 100 mL » en staphylocoques pathogènes pour 100% des échantillons ;
- ▶ d'ajouter le suivi du brome combiné dans le cas des bassins alimentés par l'eau de mer ;
- ▶ de mettre en œuvre les traitements nécessaires pour limiter l'exposition des usagers au radon et si nécessaire de réaliser des mesures de l'activité volumique du radon dans les établissements concernés selon les protocoles établis par l'IRSN pour les établissements thermaux ;
- ▶ de suivre les concentrations en arsenic dans l'eau dans les bassins alimentés par de l'EMN avec comme valeur limite celle fixée pour l'eau destinée à la consommation humaine soit 10 µg.L<sup>-1</sup> ;
- ▶ de mettre en place le suivi semestriel des légionelles avec identification de *L. pneumophila* avec comme valeur limite : « < 250 UFC dans 1L, avec *L. pneumophila* non détectée ».

L'ensemble des paramètres dont le suivi est recommandé dans le cadre du contrôle sanitaire est présenté en annexe 2.

### *Gestion de la qualité de l'air*

Compte tenu de la présence importante de SPD dans l'atmosphère des bains à remous (air et aérosols), les experts recommandent de classer les bains à remous dans la catégorie des « bâtiments à pollution spécifique » et d'imposer un débit d'air neuf minimum de  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Il est proposé d'intégrer dans le cadre du contrôle sanitaire le suivi du chloroforme avec un seuil maximal de  $0,25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  et le suivi du bromoforme avec un seuil maximal de  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  pour les bassins alimentés par de l'eau riche en ions bromures<sup>4</sup>.

### *Recommandations spécifiques pour les travailleurs*

L'employeur doit mettre à disposition du personnel les mesures de protection collective et les équipements de protections individuels adaptés.

Il doit développer un programme continu de formation du personnel concernant notamment la manipulation et l'entreposage des produits.

Compte tenu des dangers identifiés dans le rapport, les experts préconisent la mise en place d'une surveillance médicale renforcée pour le personnel des bains à remous.

### *Proposition d'amélioration des connaissances*

Afin de pouvoir qualifier voire quantifier les risques liés à la baignade dans les bains à remous, plusieurs mesures d'amélioration des connaissances sont proposées, notamment :

- ▶ d'élaborer des valeurs toxicologiques de références (VTR) pour la voie respiratoire en particulier pour les SPD susceptibles d'être retrouvés dans les aérosols ;
- ▶ de réaliser des études sur :
  - les SPD formés dans l'eau et l'air des bains à remous, et en particulier pour les bassins alimentés par une eau autre que l'EDCH ;
  - la caractérisation (composition physico-chimique et microbiologique, dispersion) des aérosols ;
  - l'occurrence des mycobactéries non tuberculeuses ainsi que des amibes libres pouvant être rencontrées dans l'eau des bains à remous ;
  - les endotoxines bactériennes et les composés fongiques présents dans les bains à remous ainsi que leur dissémination dans l'air ;
  - les interactions entre le désinfectant et la présence de toxines dans l'eau d'alimentation (eau de mer principalement) ;
  - l'élaboration de scénarii réalistes en fonction des différents types de populations exposées ;
  - les concentrations en chlore combiné dans l'eau des bains à remous afin de pouvoir établir un seuil plus adapté que celui actuellement en vigueur fixé pour les piscines réglementées ;
- ▶ de créer une base nationale des données issues du contrôle sanitaire sur la qualité de l'eau et de l'air des bains à remous.

<sup>4</sup> Une eau riche en bromures est une eau qui contient plus de  $100 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  de bromures.

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Devant la multitude d'établissements proposant des activités ludiques et sportives autour du thème de l'eau ainsi que devant la nécessaire évolution de la réglementation liée à l'exploitation des établissements aquatiques voire à l'absence de cadre réglementaire pour l'usage de certains d'entre eux, l'Agence a mené des travaux relatifs à l'évaluation des risques liés aux piscines.

Un premier rapport d'expertise collective a été publié en 2010 relatif aux piscines encadrées réglementairement et faisant l'objet notamment d'un contrôle sanitaire régulier. Ce rapport de 2010 propose des mesures qui visent à optimiser la gestion de la qualité de l'eau et de l'air en vue de limiter l'exposition des populations concernées aux dangers physiques, chimiques et microbiologiques identifiés dans l'eau, l'air et les surfaces.

Les principales recommandations de ce rapport portent sur :

- L'hygiène des baigneurs ;
- L'agencement, l'entretien des locaux ;
- Le traitement de l'eau ;
- La gestion de la qualité de l'eau (suivi des THM, des chloramines, du carbone organique total, des staphylocoques, des *Pseudomonas aeruginosa*, etc.) ;
- La gestion de la qualité de l'air (suivi de la trichloramine, mise en place d'un contrôle sanitaire régulier, etc.).

Ces propositions, qui ne se sont pas concrétisées par une évolution de la réglementation à ce jour, peuvent également s'appliquer aux bains à remous. En effet, les dangers physico-chimiques et microbiologiques identifiés sont similaires à ceux susceptibles d'être observés dans une piscine réglementée soumise à un contrôle sanitaire régulier. Cependant en fonction de l'origine de l'eau d'alimentation du bassin, certains dangers peuvent être différents de ceux retrouvés dans un bassin alimenté par de l'EDCH (sous-produits de désinfection spécifiques dans l'eau de mer notamment). Par ailleurs, la configuration et le mode de fonctionnement spécifique des bains à remous (faible volume d'eau, forte fréquentation, concentration fluctuante du désinfectant, température de l'eau élevée, formation d'aérosols) conduisent l'Agence à compléter les recommandations du rapport de 2010 comme suit.

Il s'agit en particulier :

- De maintenir une concentration en THM dans l'eau en dessous de  $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  ;
- De suivre les concentrations en chloroforme et en bromoforme (dans le cas des bassins fermés alimentés par de l'eau de mer) dans l'air ainsi que la concentration en trichloramine ;
- De contrôler en particulier l'absence de *Pseudomonas aeruginosa* et de *Staphylococcus aureus* dans l'eau des bassins ;

L'Agence recommande également :

- une température de l'eau « guide » de l'ordre de  $32\text{-}33^\circ\text{C}$  et une limite supérieure impérative de  $36^\circ\text{C}$  ;
- De limiter la durée de la baignade à 15 minutes ;

- D'interdire l'accès aux bains à remous aux enfants de moins de 10 ans du fait de la profondeur moyenne des bassins et de la taille moyenne des enfants;
- De mettre en place un suivi des bactéries du genre *Legionella* et en particulier de *L. pneumophila* ;

En outre, l'Agence déconseille fortement certains usages (bassins en bois) ou certaines pratiques liés aux bains à remous (ajout de chocolat, lait, etc.).

L'Agence souligne l'importance :

- de la mise en place systématique d'un contrôle sanitaire de la qualité de l'eau et de l'air dans ce type de bassin ;
- d'une surveillance sous la responsabilité du gestionnaire de l'établissement.

Enfin l'Agence rappelle la nécessité de la création d'une base nationale de données rassemblant notamment l'ensemble des résultats d'analyses des programmes de prélèvements issus du contrôle sanitaire des piscines recevant du public (piscines réglementées, piscines atypiques, bains à remous, etc.). Cette base permettra notamment de vérifier la pertinence des mesures de maîtrise de la qualité de l'eau et de l'air proposés dans les deux rapports de l'Agence. La bancarisation des données améliorera également l'évaluation des expositions des populations concernées.

Le rapport relatif aux risques sanitaires liés aux bains à remous clôt un cycle de travaux d'expertise de l'Agence relatifs aux piscines réglementées et aux baignades et piscines atypiques. Parmi les études préconisées dans les deux rapports d'expertise collective précédents et le présent rapport d'expertise, l'Agence soutiendra des travaux visant à améliorer l'état des connaissances, en particulier en vue :

- d'élaborer une valeur toxicologique de référence pour la trichloramine ;
- de documenter la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau et de l'air de piscines médicales.

**Le directeur général**

Marc Mortureux

**MOTS-CLÉS**

Bains à remous, eau, air, risques pour la santé, risques pour les travailleurs, traitement de l'eau, risques microbiologiques, risques chimiques, sous-produit de désinfection, eau de mer, eau minérale naturelle.

**ANNEXE(S)**

**Annexe 1 : Extrait de l'avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines-partie 1 : piscines réglementées**

**Agencement des locaux**

L'agencement des locaux devrait prévoir un cheminement du public de type « marche en avant », afin d'éviter le croisement des zones «sales» et «propres».

Les locaux, notamment les vestiaires, les sanitaires et les pédiluves, devront être conçus de telle façon à limiter les salissures et faciliter les opérations d'entretien et de nettoyage. Un chauffage basse-température du sol est préconisé.

L'établissement doit comporter au minimum une douche, un pédiluve et un cabinet d'aisance. Le nombre de ces équipements doit être en adéquation avec la fréquentation des bassins.

Les pédiluves devront être alimentés en eau courante et désinfectante contenant une concentration en chlore résiduel de 5 mg.L<sup>-1</sup>.

Les installations de ventilation devront être régulièrement entretenues dans les piscines couvertes.

Le bac tampon doit être facilement accessible et équipé d'une ventilation mécanique contrôlée efficace; dans le cas des piscines désinfectées au chlore, un système d'aération forcée ou « strippage »<sup>5</sup> doit y être installé.

Concernant les matériaux en contact avec l'eau, l'utilisation de matériaux autorisés pour le traitement et la distribution des eaux potables est encouragée.

**Paramètres physico-chimiques et microbiologiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire de l'eau et de l'air des piscines collectives**

Paramètres physico-chimiques	Valeur impérative	Valeur guide
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	5*	
Turbidité en sortie de filtre (NFU)	0,3	
Chlore actif (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4 - 1,4	0,3 – 0,6 Si les conditions d'hygiène sont respectées
Chlore disponible dans le cas du chlore stabilisé (mg.L <sup>-1</sup> )	2,0 - 4,0	
Chlore combiné (mg.L <sup>-1</sup> )	0,6	
Trichloramine dans l'air (mg.m <sup>-3</sup> )	0,3	
Trihalométanes totaux (mg.L <sup>-1</sup> )	0,1*	0,02
Brome résiduel (mg.L <sup>-1</sup> )	1,0-2,0	
Ozone résiduel entre le point d'injection de l'ozone et le dispositif de neutralisation de l'ozone résiduel (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4	
PHMB (mg.L <sup>-1</sup> )	20,0 - 35,0	
pH	6,9 - 8,2 en fonction du désinfectant utilisé	

\*valeur fixée à titre expérimental pendant deux ans qui pourra être revue en fonction de nouvelles données

<sup>5</sup> Aération forcée ou « Strippage »: procédé d'extraction de composés volatils de l'eau par entraînement à l'aide d'un bullage de gaz.



<b>Paramètres microbiologiques</b>	<b>Valeur impérative</b>
<i>Escherichia coli</i> (dans 100 mL)	absence
Bactéries aérobies revivifiables à 36°C (UFC dans 1 mL)	<100
Entérocoques intestinaux (dans 100 mL)	absence
Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices Si résultat positif : recherche de <i>Cryptosporidium</i> et <i>Giardia</i> *	absence*
Staphylocoques pathogènes sur les 12 derniers mois pour les piscines ouvertes à l'année : - dans 90% des échantillons (dans 100 mL) - dans 10% des échantillons (UFC/100 mL)	absence* <30*
Staphylocoques pathogènes sur les 12 derniers mois pour les piscines saisonnières: - dans 100% des échantillons (UFC/100 mL)	absence*
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (dans 100 mL)	absence

\*valeur fixée à titre expérimental pendant deux ans qui pourra être revue en fonction de nouvelles données

**Annexe 2 : Paramètres physico-chimiques et microbiologiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire de l'eau et de l'air des bains à remous.**

Paramètres physico-chimiques	Valeurs limites impératives
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	5
Turbidité en sortie de filtre (NFU)	0,3
Chlore actif (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4 - 1,4
Chlore disponible dans le cas du chlore stabilisé (mg.L <sup>-1</sup> )	2,0 - 4,0
Chlore combiné (mg.L <sup>-1</sup> )	0,6
Trihalométhanes totaux (mg.L <sup>-1</sup> )	0,02
Chloroforme (pour l'EDCH et l'EMN) (mg.m <sup>-3</sup> )	0,25
Bromoforme (pour l'eau de mer) (mg.m <sup>-3</sup> )	0,5
Arsenic (dans l'EMN) (µg.L <sup>-1</sup> )	10
Ozone résiduel entre le point d'injection de l'ozone et le dispositif de neutralisation de l'ozone résiduel (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4
pH	6,9 – 7,7 7,8-8,2 (eau de mer)

Paramètres microbiologiques	Valeurs limites impératives
<i>Escherichia coli</i> (UFC/ 100 mL)	< 1
Bactéries aérobies revivifiables à 36 °C (UFC/1 mL)	<100
Staphylocoques pathogènes (UFC/ 100 mL)	< 1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/ 100 mL)	< 1
<i>Legionella pneumophila</i> (UFC/ 1 L)	< 250 <i>L. pneumophila</i> non détectée.

---

# Éléments d'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines.

## Partie 2 : bains à remous

---

Saisine « 2007-SA-0409 »

### **RAPPORT d'expertise collective**

« Comité d'experts spécialisés Eaux »

« Groupe de travail : Piscines atypiques »  
Juin 2012  
Modifié en mars 2014<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Voir annexe 9

## Mots clés

---

Bains à remous, eau, air, risques pour la santé, risques pour les travailleurs, traitement de l'eau, risques microbiologiques, risques chimiques, sous-produit de désinfection, eau de mer, eau minérale naturelle.

## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : les experts externes, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### PARTICIPATION ANSES

---

#### Coordination de l'expertise, contribution scientifique et rédaction du rapport :

Mme Carole CATASTINI. Chef de projets scientifiques au sein de l'unité d'évaluation des risques liés à l'eau.

#### Contribution scientifique:

M. Guillaume PÉROUEL. Chargé de projets scientifiques au sein l'unité de méthodologie et d'étude relatives aux risques physico-chimiques.

Mme Pascale PANETIER. Chef de l'unité d'évaluation des risques liés à l'eau.

#### Secrétariat administratif:

Mme Séverine BOIX- Anses.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

M. Jean-Luc BOUDENNE – Maître de conférences. Métrologie des eaux, chimie et qualité des eaux. Laboratoire Chimie de l'environnement Aix Marseille Université - CNRS.

#### Membres

M. Paul CHAMBON – Professeur Honoraire de Toxicologie à la Faculté de Pharmacie de Lyon.

Mme Magali CORRON – Spécialiste en qualité de l'air. Airbreizh, association de surveillance de la qualité de l'air.

Mme Karine DUBOURG – Spécialiste en eau thermale. Institut du thermalisme de Dax. Université Bordeaux Segalen.

Mme Françoise ENKIRI – Ingénieur hygiéniste. Département de l'hygiène et de la microbiologie de l'environnement. Microbiologiste, réalisation d'enquête sanitaire. Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris (LHVP).

M. Loïc FAVENNEC – Médecin biologiste, parasitologue, mycologue, Enseignant-chercheur. Université de Rouen.

Mme Gwenaëlle LAVISON – Chimiste et métrologue de l'eau. Direction de la recherche, du développement et de la qualité de l'eau. Eau de Paris.

M. Alcime LE GUENNIC – Ingénieur principal d'études sanitaires. Département Veille et sécurité sanitaire. Contrôle sanitaire des piscines. Agence Régionale de santé des Pays de la Loire.

Mme Anne OPPLIGER – Biologiste, hygiéniste du travail. Institut universitaire romand de Santé au Travail. Université de Lausanne et Genève.

Mme Isabelle VILLENA – Médecin biologiste, parasitologue, mycologue Enseignant-chercheur Université de Reims-Champagne Ardenne.

Mme Bénédicte WELTE – Chimiste et microbiologiste de l'eau. Spécialiste en traitement de l'eau. Direction de la recherche, du développement et de la qualité de l'eau. Eau de Paris.

## RELECTEURS

---

M. Pierre-Jean CABILLIC – Retraité. Ingénieur de l'École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) et ingénieur du Génie Sanitaire. Qualité des eaux, gestion des risques sanitaires.

Mme Sylvie DUBROU – Membre du CES Eaux. Directrice de laboratoire. Microbiologiste Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris (LHVP).

Mme Evelyne GEHIN – Professeur des Universités. Centre d'études et de recherche en thermique environnement et systèmes (CERTES). Université Paris Est Créteil. Spécialiste des aérosols.

## AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

---

### Personnalités compétentes

**M. ANTON Robert** : Professeur de pharmacologie à l'université Louis-Pasteur de Strasbourg, auditionné en tant que président de la commission sur les huiles essentielles de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM).

**M. BAUER Fabrice** : Professeur de cardiologie à l'université de Rouen.

**Mme GEHIN Evelyne** : Professeur spécialiste des aérosols à l'Université Paris-Est Créteil.

### Fédération

**Fédération des professionnels de la piscine** : Mme J. Pullinx, et MM G. Daubech, F. Grillard, P. Iorio.

### Sociétés

**Hydrothermes ingénierie** : M. P. Lepers

**ICS' eau** : M. J-P. Fouquey

**Pacific Parquet** : M. A. Schwartz

**Société Cifec** : M. L. Derreumaux et M. M. Lambert

**Société HSB** : M. A. Renneteau et M. G. Guilbert

**Société Porcélanosa** : M. Y. Chivard

**ADOPTION DU RAPPORT PAR LE COMITÉ D'EXPERTS SPECIALISÉ**

---

Ce rapport a été soumis pour commentaires et avis au CES « EAUX » lors des séances des 7 juin 2011, 4 octobre 2011, 9 mai 2012 et 3 juillet 2012. Le rapport a été adopté lors de la séance du 3 juillet 2012.

## Sommaire

<b>Présentation des intervenants.....</b>	<b>3</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>9</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>10</b>
<b>Sigles et abréviations .....</b>	<b>12</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>15</b>
<b>1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....</b>	<b>18</b>
1.1 Contexte.....	18
1.2 Objet de la saisine.....	19
1.3 Modalités de traitement .....	20
<b>2 Contexte réglementaire et normatif.....</b>	<b>21</b>
2.1 France .....	21
2.1.1 Qualité de l'eau .....	21
2.1.2 Qualité de l'air .....	22
2.1.3 Hygiène des sols et des surfaces .....	22
2.2 Étude descriptive des réglementations, normes et recommandations à l'étranger.....	23
2.2.1 Qualité de l'eau et de l'air .....	23
2.2.2 Aspects techniques et traitement de l'eau .....	25
2.3 Points à retenir .....	27
<b>3 Descriptif et traitements .....</b>	<b>34</b>
3.1 Typologie des bains à remous et définitions .....	34
3.1.1 Bain à remous.....	34
3.1.2 Bain à remous à nage forcée.....	34
3.1.3 Établissement thermoludique .....	34
3.2 Typologie de l'eau d'alimentation selon son origine et sa nature .....	34
3.2.1 Eau destinée à la consommation humaine.....	35
3.2.2 Eau minérale naturelle .....	35
3.2.3 Eau de mer .....	36
3.2.4 Autres types d'eaux .....	37
3.3 Fonctionnement et traitements d'un bain à remous.....	38
3.3.1 Fonctionnement .....	38
3.3.2 Traitement de l'eau .....	40



3.3.3	Traitement de l'air .....	46
3.3.4	Traitement des surfaces .....	49
<b>3.4</b>	<b>Points à retenir .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>Identification des dangers.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Description des particularités des bains à remous à l'origine de dangers chimiques et microbiologiques spécifiques .....</b>	<b>51</b>
4.1.1	La température.....	51
4.1.2	Les aérosols.....	53
4.1.3	Les biofilms .....	56
4.1.4	Points à retenir.....	57
<b>4.2</b>	<b>Description des dangers liés à la fréquentation des bains à remous alimentés par de l'EDCH.....</b>	<b>57</b>
4.2.1	Dangers liés aux sous-produits de désinfection .....	57
4.2.2	Dangers microbiologiques .....	66
<b>4.3</b>	<b>Description des dangers présents dans les bains à remous alimentés par l'eau de mer. ....</b>	<b>80</b>
4.3.1	Dangers liés aux sous-produits de désinfection .....	80
4.3.2	Autres dangers chimiques : résidus pétroliers.....	86
4.3.3	Dangers microbiologiques .....	86
<b>4.4</b>	<b>Identification des dangers liés aux bains à remous alimentés par de l'eau minérale naturelle (activité thermoludique) .....</b>	<b>98</b>
4.4.1	Dangers chimiques .....	98
4.4.2	Dangers microbiologiques .....	101
4.4.3	Points à retenir.....	103
<b>4.5</b>	<b>Autres dangers quel que soit le type d'eau.....</b>	<b>104</b>
4.5.1	Dangers liés aux taux d'impureté des produits de traitements de l'eau .....	104
4.5.2	Dangers liés aux matériaux .....	105
4.5.3	Dangers liés aux additifs.....	107
<b>5</b>	<b>Identification des voies d'exposition et des populations exposées .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Voie d'exposition.....</b>	<b>109</b>
5.1.1	Voie respiratoire.....	109
5.1.2	Voie cutanéomuqueuse .....	109
5.1.3	Voie orale.....	109
<b>5.2</b>	<b>Populations exposées .....</b>	<b>110</b>
5.2.1	Les professionnels .....	110
5.2.2	La population générale .....	111
<b>6</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>112</b>
<b>6.1</b>	<b>Les sous-produits de désinfection .....</b>	<b>112</b>
<b>6.2</b>	<b>Les micro-organismes pathogènes .....</b>	<b>113</b>
<b>7</b>	<b>Recommandations .....</b>	<b>116</b>

7.1 Mesures visant les baigneurs.....	116
7.2 Agencement, entretien et nettoyage des locaux et des installations .....	117
7.3 Traitement de l'eau.....	118
7.4 Additifs.....	120
7.5 Recommandations d'usage .....	120
7.6 Qualité de l'eau.....	121
7.6.1 Qualité de la ressource .....	121
7.6.2 Qualité de l'eau du bassin.....	121
7.7 Qualité de l'air .....	123
7.7.1 Synthèse .....	124
7.8 Suivi sanitaire des bains à remous par l'exploitant.....	125
7.9 Personnel.....	125
7.10 Proposition d'amélioration des connaissances.....	126
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>127</b>
<b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>	<b>154</b>
<b>Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine .....</b>	<b>157</b>
<b>Annexe 3: Actions à mettre en place pour l'exploitation des bains à remous .....</b>	<b>163</b>
<b>Annexe 4 : Classement des eaux minérales naturelles .....</b>	<b>172</b>
<b>Annexe 5 : Références des normes de qualité pour les produits de traitements des eaux utilisés en piscines collectives.....</b>	<b>174</b>
<b>Annexe 6 : Concentration en métaux lourds autorisées dans les produits de traitements de l'eau destinée à la consommation humaine .....</b>	<b>176</b>
<b>Annexe 7 : Propriétés physico-chimiques des principaux sous-produits de désinfection .....</b>	<b>180</b>
<b>Annexe 8: Exploitation de la base sise eaux.....</b>	<b>181</b>
<b>Annexe 9 : Suivi des actualisations du rapport.....</b>	<b>185</b>

## Liste des tableaux

Tableau I : Concentrations des éléments à partir desquelles des traitements de l'eau spécifiques doivent être mis en place.....	24
Tableau II : Valeurs limites de qualité microbiologiques de l'eau de mer et des eaux thermales.....	24
Tableau III : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres physiques.....	28
Tableau IV : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres chimiques.....	29
Tableau V : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des résiduels de désinfectant.....	30
Tableau VI : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des sous-produits de désinfection.....	31
Tableau VII : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres microbiologiques.....	32
Tableau VIII : Comparaison des réglementations ou normes relatives aux prescriptions techniques de traitement de l'eau préconisées.....	33
Tableau IX : Composition chimique de l'eau de mer naturelle.....	36
Tableau X : Comparaison des concentrations en THM dans l'eau et dans l'air des piscines ludiques et des bains à remous.....	60
Tableau XI : Concentrations en acides haloacétiques retrouvées dans les eaux de piscine.....	61
Tableau XII : Comparaison des teneurs en acides haloacétiques dans les eaux de piscines et de bains à remous.....	62
Tableau XIII : Comparaisons des teneurs en hydrate de chloral dans les piscines et bains à remous désinfectés au chlore.....	62
Tableau XIV : Concentrations en haloacétonitriles dans les eaux de piscine et de bains à remous.....	63
Tableau XV : Concentrations en N-nitrosodiméthylamine et N-nitrodiméthylamine retrouvées dans les eaux de piscine et de bains à remous désinfectées au chlore:.....	64
Tableau XVI : Exemples de concentration-activité du <sup>222</sup> Rn dans différentes eaux.....	100
Tableau XVII : Paramètres physico-chimiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les bains à remous.....	124
Tableau XVIII : Paramètres microbiologiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les bains à remous.....	125
Tableau XIX: Références des normes de qualité pour les produits de traitements des eaux utilisés en piscines collectives.....	174
Tableau XX : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les produits de traitement de l'eau destinée à la consommation humaine.....	176
Tableau XXI : Concentrations maximales en métaux lourds et bromates autorisées dans les produits de traitement de l'EDCH à base de chlore.....	177
Tableau XXII : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les coagulants à base de fer.....	178

Tableau XXIII : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les coagulants à base d'aluminium.....	179
Tableau XXIV : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les produits de neutralisation .....	179
Tableau XXV : Propriétés physico-chimiques des principaux sous-produits de désinfection.....	180
Tableau XXVI : Pourcentage de conformité en staphylocoques pathogènes dans l'eau des bains à remous .....	182
Tableau XXVII : Pourcentage de conformité en bactérie aérobies revivifiacales à 36°C dans l'eau des bains à remous .....	182
Tableau XXVIII : Pourcentage de conformité et concentration en chlore combiné dans l'eau des bains à remous .....	183
Tableau XXIX : Pourcentage de conformité et concentration en chlore libre dans l'eau des bains à remous .....	183
Tableau XXX : Pourcentage de conformité et concentration en chlore actif dans l'eau des bains à remous	183
Tableau XXXI : Pourcentage de conformité et concentration en acide isocyanurique dans l'eau des bains à remous .....	184

## Liste des figures

Figure 1 : Principe de fonctionnement des hydrojets. ....	38
Figure 2: Schéma d'un système à blower. ....	39
Figure 3 : Représentation schématique de la distribution en eau et en air des hydrojets. ....	39
Figure 4 : Exemples de buses équipant les hydrojets. ....	40
Figure 5 : Exemple de circuit hydraulique d'un bain à remous à traitement simple. ....	41
Figure 6 : Exemple de filière de traitement de l'eau d'un bain à remous équipé d'un bac tampon. ....	42
Figure 7 : Exemple de filière de traitement commun de l'eau d'un bain à remous et d'un bassin de natation. ....	43
Figure 8 : Fraction de la forme HClO en fonction du pH et de la température. ....	45
Figure 9 : Dispositif de modulation de l'air neuf. ....	47
Figure 10 : Exemple de déshumidification par pompe à chaleur. ....	48
Figure 11 : Schéma d'une roue à dessiccation. ....	49
Figure 12 : Formation et enrichissement en bactéries de la bulle (a et b) lors de son trajet dans l'eau et lors de sa dégradation en « film drop » (c) et en « jet drop » (d). ....	53
Figure 13 : Evaporation d'une microgouttelette d'eau. ....	54
Figure 14 : Arbre trachéobronchique. ....	55
Figure 15 : Mécanisme de formation des chloramines et des bromamines. ....	58
Figure 16 : Mécanisme de formation des ions bromates lors de l'ozonation de l'eau. ....	65
Figure 17 : Chimie de la chloration de l'eau de mer. ....	81

Figure 18 : Schéma réactionnel de formation de sous-produits iodés \_\_\_\_\_ 86

## Sigles et abréviations

AFNOR : Agence française de normalisation

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

AFSSET : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

AHA : Acides haloacétiques

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AOX : Composés organohalogénés adsorbables sur charbon actif

ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé

ARS : Agence régionale de santé

ATSDR : Agency for toxic substances and disease registry

BCAA : Acide bromochloroacétique

BCAN : Bromochloroacétonitrile

BDCA : Acide bromodichloroacétique

BDCAA : Acide dibromochloroacétique

CAG : Charbon actif en grain

CAS : Chemical abstract services

CBAA : Acide dibromochloroacétique

CDBAA : Acide chlorodibromoacétique

CDC : Centers for diseases control and prevention

CES : Comité d'experts spécialisé

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer (IARC en anglais)

CPSP : Commission pour la santé des consommateurs

COT : Carbone organique total

COTEREHOS : Comité technique régional de l'environnement hospitalier

COV : Composés organiques volatils

CSP : Code de la santé publique

CSTB : Centre scientifique et technique du bâtiment

CTA : Centrale de traitement de l'air

DAMM : Diamètre aérodynamique massique médian

DBAA : Acide dibromoacétique

DBAN : Dibromoacétonitrile

DCAA : Acide dichloroacétique

DCAN : Dichloroacétonitrile

DCMA : Dichlorométhylamine

DDASS : Direction départementale des affaires sanitaires et sociales

DGS : Direction générale de la santé

DMNA : N-nitrodiméthylamine

DSP : Diarrheic shellfish poisoning, intoxication diarrhéïque par les mollusques

EDCH : Eau destinée à la consommation humaine

EMN : Eau minérale naturelle

ENSP (EHESP) : Ecole nationale de santé publique (Ecole des hautes études en santé publique)

ERS : Evaluation des risques sanitaires

FMI : Fréquentation maximale instantanée

FMJ : Fréquence maximale journalière

FPP : Fédération des professionnels de la piscine

HAD : Haldoaldéhydes

HAN : Haloacétonitriles

HNM : Halonitrométhanes

HPA : Health Protection Agency

HSE : Health and Safety Executive

ICRP : International commission on radiological protection

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IGAS : Inspection générale des affaires sociales

InVS : Institut de veille sanitaire

JO : Journal officiel

LHVP : Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris

MA : Mycobactérie atypique

MAC : *Mycobacterium avium* complex

MAS : Maison d'accueil spécialisé

MBAA : Acide monobromoacétique

MCAA : Acide monochloroacétique

MI-MS : Membrane Inlet – Mass Spectrometry : spectrométrie de masse avec introduction membranaire

NDMA : N-nitrosodiméthylamine

NIOSH : National institute for occupational safety and health

NSW : News South Wales  
NTU : Unité néphélobimétrique de turbidité  
OFSP : Office fédéral de la santé publique suisse  
OMS : Organisation mondiale de la santé  
ORL : Oto-rhino-laryngologie  
OSHA : Occupational safety and health administration  
PAC : Pompe à chaleur  
PHMB : Polyhexaméthyléthylène biguanide  
PTWAG : Pool water treatment advisory group  
PVC : Polychlorure de vinyle  
RDS : Règlement sanitaire départemental  
REPHY : Réseau de surveillance phytoplanctonique  
SARM : *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline  
SASM : *Staphylococcus aureus* sensible à la méthicilline  
SIDA : Syndrome d'immunodéficience acquise  
SISE-Eaux : Système d'information en santé-environnement  
SPD : Sous-produit de désinfection  
T : Température  
TBAA : Acide tribromoacétique  
TCAA : Acide trichloroacétique  
TCAN : Trichloroacétonitrile  
TE/F : Unités de turbidité rapportées à la formazine en suspension standard  
THM : Trihalométhanes  
US EPA : United States environmental protection agency  
UV : Ultra-Violet  
VLEP : Valeur limite d'exposition professionnelle  
VME : Valeur moyenne d'exposition professionnelle  
VTR : Valeur toxicologique de référence



## GLOSSAIRE

**Aérosol** : Ensemble constitué par un milieu gazeux et des particules, solides et/ou liquides, en suspension dans ce milieu gazeux (AFNOR, 2007).

**Banquette à bulles** : installation permettant au baigneur de s'asseoir ou de s'allonger en ayant le corps immergé à l'exception du visage (ou de la tête), dans laquelle de l'air est injecté à différents endroits ou sur la totalité de sa surface, pour offrir à l'utilisateur un effet massant (norme NF P90-320 ; AFNOR, 2009).

**Boule à vagues** : sphère flottant sur l'eau, qui génère des vagues artificielles de type stationnaire (houle). Le fonctionnement peut être lent ou plus agité de façon à produire des vagues de 20 cm à 1 m de hauteur (Wow Compagny, 2010).

**Capacité nominale** : correspond au dimensionnement du bassin en fonction du nombre de baigneurs par heure. (SIA, 2000). Elle se déduit de la formule :

$$N = A n/a$$

N : capacité nominale en h<sup>-1</sup>

A : surface du plan d'eau du bassin en m<sup>2</sup>

n : fréquence des baigneurs en h<sup>-1</sup> (3 pour les bains à remous)

a : surface d'eau individuelle en m<sup>2</sup> (3 pour les bassins non nageurs, 5 pour les bassins de natation).

**Centre de rééducation et/ou de réadaptation fonctionnelle** : établissement de santé qui a pour objet de dispenser des soins de suites ou de réadaptation dans le cadre d'un traitement ou d'une surveillance médicale à des malades requérant des soins continus dans un but de réinsertion. (Code de la santé publique, 2010a).

**Ct** : produit de la concentration résiduelle en désinfectant (C) et du temps de contact effectif (t) pour inactiver un micro-organisme. Les valeurs de Ct dépendent du micro-organisme ciblé, de la nature du désinfectant chimique, du pH et de la température. Les valeurs de Ct permettent de comparer l'efficacité des désinfectants entre-eux, vis-à-vis d'un micro-organisme donné.

**Cyanobactérie** : micro-organisme procaryote à Gram négatif dont la pigmentation peut varier du bleu-vert au rouge (Afssa- Afsset, 2006)

**Demande en chlore** : Différence entre la quantité de chlore ajoutée à un échantillon d'eau et la quantité de chlore résiduel totale qui reste au bout d'une période de contact définie. Elle est déterminée par la méthode du break-point (point de rupture) (ISO 6107-2,1989).

**Diatomée (*Baccillariophyta*)** : microalgue unicellulaire à coque siliceuse appartenant au groupe des chromophycophytes. Elle représente un constituant majeur du phytoplancton.

**Dinophycée (ou dinoflagellé)** : algue phytoplanctonique microscopique à coque cellulosique, dont plusieurs de ses genres sont toxiques (algue des genres *Alexandrium* et *Dinophysis*, par exemple).

**Eau d'appoint ou « eau neuve »** : désigne l'eau nouvellement introduite dans une installation pour ralentir le « vieillissement » de l'eau par dilution. Cette eau d'appoint compense les pertes d'eau

dues notamment à l'évaporation, aux lavages de filtres et à l'alimentation des pédiluves. L'eau d'appoint peut être de nature différente de l'eau alimentant les bassins et le mélange de ces eaux pourrait engendrer des risques spécifiques. L'eau d'appoint est introduite dans le circuit de traitement en amont de la filtration.

**Émergence** : toute émission d'eau souterraine à la surface du sol, localisée (source) ou diffuse (effluence, suintement, exfiltration) (Castagny, 1977).

**Établissement thermal** : établissement qui utilise sur place ou par adduction directe des eaux minérales naturelles et/ou leurs produits dérivés (boues, vapeurs, gaz, etc.) à des fins thérapeutiques (AFNOR, 2000).

**Eutrophe** : milieu aquatique riche en éléments nutritifs.

**Huile essentielle** : produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition (Afssaps, 2010).

**Hydromassage sous-marin ou jet sous marin ou jet stream** : soin collectif en piscine d'eau de mer. Les mouvements sont effectués sous la conduite d'un hydrothérapeute, devant un jet fixe à orientation et puissance variables.

**Lagune à bulles** : bassin ou partie de bassin de faible profondeur dans lequel de l'air est injecté par le fond sur toute la surface du fond (norme NF P90-320, AFNOR, 2009).

**Liner** : membrane polymérique (la plupart du temps à base de PVC) destinée à assurer l'étanchéité des bassins qu'ils soient en bois, inox ou ciment.

**Neustonique** : qui vit au contact de l'interface air-eau.

**Oligotrophe** : milieu aquatique pauvre en nutriments et riche en oxygène.

**Pentaglisse (ou pentaglis)** : toboggan linéaire à plusieurs pistes parallèles, pouvant présenter une ou plusieurs ruptures de pentes.

**Phytoplancton** : plancton végétal à la base de la chaîne alimentaire marine. Le phytoplancton est constitué de micro-organismes (microalgues et cyanobactéries) qui accomplissent la photosynthèse. Les algues flottantes du phytoplancton sont unicellulaires, autotrophes vis-à-vis du carbone, et accomplissent la photosynthèse.

**Salinité** : masse en grammes des composés solides séchés à poids constant à 480 °C, obtenue à partir de 1 kg d'eau de mer (Rodier *et al.*, 2006).

**Salinité absolue** : elle est calculée à partir de la quantité d'halogénures contenue dans l'eau de mer analysée, selon la relation :  $S(\%) = 1,80655 \times [\text{Halogénures}] = 1,80655 \times 0,3285234 \text{ Ag}(\%)$ . La concentration en halogénures est déterminée par titrimétrie avec une solution de nitrate d'argent. Ag(%) représente la masse d'argent (en gramme) nécessaire pour précipiter les halogénures présents dans 1 kg d'eau de mer analysé.

**Salinité pratique** : la salinité pratique est aujourd'hui définie en fonction du rapport K de la conductivité électrique de l'échantillon d'eau de mer à 14,996 °C et à la pression atmosphérique normale ( $P = 101\,325 \text{ Pa}$ ), et de celle d'une solution de chlorure de potassium dans laquelle la masse de KCl est de 32,4356 g/kg, à la même température et même pression.  $S = 0,0080 - 0,1692 K^{1/2} + 25,3853 K + 14,0941 K^{3/2} - 7,0261 K^2 + 2,7081 K^{5/2}$ .

**Skimmer ou écumeur de surface** : Sur la ligne d'eau, la plupart des spas sont équipés d'un skimmer (ou écumeur de surface) combiné à un filtre qui recycle l'eau par la surface et destiné à la collecte des débris flottants, comme les cheveux, l'herbe, les feuilles, etc. L'eau est aspirée dans le filtre par la force d'aspiration de la pompe. Le filtre arrête les poussières, le sable et autres impuretés par le système de filtration à aspiration haute et basse.

**Spectrométrie de masse avec introduction membranaire (MI-MS)** : technique analytique permettant de séparer des composés organiques de l'eau (ou de l'air) par l'utilisation d'une membrane ultrafine (en général en polydiméthylsiloxane) installée entre l'échantillon et la source d'ions d'un spectromètre de masse. Les composés organiques se dissolvent dans la membrane, diffusent à travers elle, puis s'évaporent directement dans la source d'ions. Les seuils de détection atteignent en général le  $\text{ng.L}^{-1}$ .

**Stripage (ou strippage ou stripping)** : procédé d'extraction de composés volatils par entraînement à l'aide d'un gaz. Dans le cas des piscines, il peut s'agir de l'entraînement de la trichloramine par de l'air.

# 1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

## 1.1 Contexte

D'après l'OMS (2006), les termes « spa », « jacuzzi », bain à remous, regroupent tous les bassins alimentés par de l'eau traitée dont la température est généralement supérieure à 32 °C, permettant aux usagers de se relaxer en position assise. Le recyclage de l'eau évite son renouvellement entre chaque usager. Ces bassins peuvent être installés à l'intérieur ou à l'extérieur. Ils regroupent les « *hot tubs* »<sup>2</sup> ainsi que les « *natural spas* » (alimentés en eau thermale ou minérale naturelle), que l'usage soit domestique, public ou semi-public.

Les bains à remous se distinguent des piscines réglementées par leur configuration et leur mode de fonctionnement :

- ▶ un faible volume d'eau ;
- ▶ une forte fréquentation par rapport au volume : plusieurs dizaines de fois supérieure à la fréquentation d'un bassin de natation ;
- ▶ une fréquentation discontinue : des périodes de forte affluence peuvent succéder à des périodes d'inutilisation totale ou faible ;
- ▶ une promiscuité plus importante des baigneurs ;
- ▶ une aération de l'eau par bullage générant une volatilisation du désinfectant ainsi que de certains sous-produits formés, et la formation d'aérosols ;
- ▶ une température de l'eau élevée (entre 30 et 40 °C).

Ces spécificités induisent des différences importantes dans la répartition et la concentration de certains contaminants chimiques et microbiologiques présents dans l'eau et dans l'air de ces bassins par rapport à une piscine réglementée qui se traduisent donc par une hiérarchie des voies d'exposition différente.

La réglementation sanitaire française actuelle sur les piscines publiques ne prend pas en compte spécifiquement le cas de ces bassins qui à l'époque de son élaboration étaient quasiment inexistantes sur le territoire. La mise en place progressive des bains à remous est intervenue depuis une vingtaine d'années dans les établissements recevant du public : piscines publiques, centres de remise en forme, hôtellerie, parcs aquatiques, *etc.* et ceci quelle que soit l'origine de leur eau d'alimentation. Cette évolution a aussi été favorisée par plusieurs rapports dont celui de l'inspection générale des affaires sociales (IGAS) (Deloménie, 2000) qui ont souligné la nécessité de diversifier l'activité des établissements thermaux en complément de l'activité traditionnelle de soins pour palier à la baisse d'activité du secteur du thermalisme. Des centres dits de thermoludisme intégrant notamment des bains à remous se sont donc développés depuis une dizaine d'années proposant aux curistes et aux touristes, des bains alimentés par la même eau que celle alimentant les établissements thermaux. L'exploitation du système d'information des

---

<sup>2</sup> Le terme de « hot tubs » est utilisé au plan international indifféremment pour décrire les « pools », « whirlpools », « whirlpool spas », « heated spas », « bubble baths » (bains à bulles) et les « Jacuzzi® » (OMS, 2006).

services Santé-Environnement Eau des Agences Régionales de Santé (SISE- Eaux) a également montré que ces bassins sont présents dans les établissements de thalassothérapie.

Très vite le constat a été, qu'en l'absence d'obligation réglementaire spécifique, le traitement appliqué à ces bassins s'avérait nettement insuffisant et ce, quelle que soit l'origine de l'eau d'alimentation. Le respect des obligations de résultats prévues par la réglementation relative aux piscines réglementées est difficile et aléatoire. Les anomalies les plus souvent signalées concernent :

- ▶ un défaut du maintien permanent d'une teneur en chlore satisfaisante (données base « SISE-Eaux » Ministère de la Santé, étude 2010) ;
- ▶ une contamination importante de l'air ambiant par des composés chimiques (Afsset, 2009 b et c; Weaver *et al.*, 2009 ; Yang *et al.*, 2007);
- ▶ des contaminations microbiologiques récurrentes de l'eau (données base « SISE-Eaux » Ministère de la Santé, étude 2010) ;
- ▶ diverses affections : légionelloses, affections cutanées, *etc.* (Den Boer *et al.*, 2002 ; Campese *et al.*, 2010 ; Hanak *et al.*, 2006 ; Sood *et al.*, 2007 ; InVS, 2006 ; Ratnam *et al.*, 1986 ; Samples *et al.*, 1984) ;

Les prescriptions de la réglementation sanitaire actuelle visant les piscines réglementées ne sont donc pas suffisamment adaptées aux bains à remous.

## 1.2 Objet de la saisine

Les ministères en charge de la santé et de l'environnement ont saisi l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) le 22 décembre 2006 afin d'évaluer les risques liés à certaines catégories de baignades non couvertes par la Directive européenne 2006/7/CE<sup>3</sup>, à savoir :

- ▶ « les bassins de natation et de cure ;
- ▶ les eaux captives qui sont soumises à un traitement ou (qui) sont utilisées à des fins thérapeutiques ;
- ▶ les eaux captives artificielles séparées des eaux de surface et des eaux souterraines. »

En accord avec les ministères de tutelles, les travaux d'expertise ont été scindés en trois parties :

1. l'évaluation des risques sanitaires liés aux eaux captives séparées des eaux de surface et des eaux souterraines : ces résultats ont fait l'objet d'un rapport et d'un avis de l'Afsset publiés en juillet 2009<sup>4</sup> ;
2. l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines à usage collectif et relevant de la réglementation française : ces résultats ont fait l'objet d'un rapport et d'un avis de l'Afsset publiés en juin 2010<sup>5</sup> ;
3. l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines dites « atypiques ».

---

<sup>3</sup> Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE

<sup>4</sup> Évaluation des risques liés aux baignades artificielles, rapport et avis de l'Afsset, 17 juillet 2009.

<sup>5</sup> Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines : partie 1, piscines réglementées, rapport et avis de l'Afsset, 9 juin 2010.

Dans le cadre de cette troisième partie, le présent rapport porte sur les bains à remous. Il en décrit notamment :

- ▶ les différents usages ;
- ▶ la nature de l'eau d'alimentation des bassins ;
- ▶ les différents matériaux utilisés ;

Il propose ensuite :

- ▶ des règles d'hygiène, de conception et de maintenance des installations ;
- ▶ une liste de produits et procédés de traitements envisageables, ainsi que leurs modalités d'utilisation ;
- ▶ des modalités de surveillance et de contrôle ;
- ▶ des valeurs limites de qualité de l'eau et de l'air.

### 1.3 Modalités de traitement

Un groupe de travail (GT) intitulé « Piscines atypiques » a été installé le 16 avril 2010. Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au Comité d'Experts Spécialisé (CES) « Eaux et Agents biologiques » de l'Afsset puis au CES « Eaux » de l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses). Le présent rapport tient compte des contributions apportées par les membres de ces CES, lors de ces consultations.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Pour mener à bien ses travaux, le GT s'est appuyé sur une revue bibliographique internationale réalisée à partir des sites pubmed, sciencedirect et scopus entre avril 2010 et décembre 2011. Ces recherches documentaires ont porté principalement sur l'identification des dangers physico-chimiques et microbiologiques spécifiques aux bains à remous, ainsi que sur ceux liés à la chloration de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle. L'analyse a été complétée par :

- ▶ une exploitation des données du contrôle sanitaire (base de données SISE-Eaux) et d'études d'exposition (Afsset, 2009 b et c) ;
- ▶ l'audition d'industriels et de gestionnaires d'établissements pour conforter l'état de la situation à l'échelle nationale.

Le présent rapport identifie les principaux dangers chimiques et microbiologiques spécifiques aux bains à remous susceptibles d'être présents dans l'eau, l'air et sur les surfaces de ces bassins ainsi que ceux décrits dans le rapport relatif aux piscines réglementées (Afsset, 2010) dont la concentration ou l'occurrence peut être favorisée dans les conditions particulières de fonctionnement que présentent les bains à remous. Les dangers sont décrits en fonction de l'origine de l'eau d'alimentation.

Ce rapport a été présenté à 4 reprises au CES « Eaux » et adopté par ce dernier le 3 juillet 2012.

## 2 Contexte réglementaire et normatif

### 2.1 France

Il n'existe pas actuellement de réglementation spécifique encadrant les bains à remous. Ces bassins sont soumis aux textes législatifs et réglementaires relatifs aux piscines réglementées, détaillés dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010 a) en particulier :

- ▶ l'installation d'un bain à remous doit être déclarée à la mairie du lieu d'implantation du bassin (article L 1332-1 du CSP) ;
- ▶ l'exploitant est tenu de surveiller la qualité de l'eau du bassin (article L.1332-8 du CSP et article 11 de l'arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines) ;
- ▶ les règles et limites de qualité réglementaires définies dans les articles L.1332-8 et D-1332-12 du CSP doivent être respectées.

Toutefois, l'article D1332-4 du CSP indique que l'utilisation d'une eau autre que celle du réseau de distribution publique pour l'alimentation d'un bassin doit faire l'objet d'une autorisation préfectorale.

Compte tenu des spécificités des bains à remous (température élevée de l'eau, agitation de l'eau, faible volume, taux de fréquentation élevé), les obligations de résultats prévus dans les articles du CSP sont difficiles à respecter.

#### 2.1.1 Qualité de l'eau

Le ministère en charge de la santé a publié une circulaire relative à la prévention des risques infectieux et notamment des infections à légionelles dans les bassins à remous collectif, suite à l'établissement du lien entre des cas de légionellose et la fréquentation de bains à remous (Institut de Santé Publique du Québec, 2009 ; Benkel *et al.*, 2000 ; Spitalny *et al.*, 1984). Cette circulaire rappelle les dispositions sanitaires législatives et réglementaires que doivent suivre les exploitants des bains à remous (Circulaire DGS/EA4/2010/289 du 27 juillet 2010).

Cette circulaire demande notamment de « *renforcer le contrôle sanitaire mensuel de l'eau de ces bassins par la recherche de *Pseudomonas aeruginosa* dont le seuil doit être inférieur à 1UFC/100 mL.*

*Chaque établissement devra être inspecté au moins une fois par an afin de vérifier le respect des dispositions législatives et réglementaires.*

*En cas de légionellose, il sera procédé à la recherche et au dénombrement des *Legionella* et *Legionella pneumophila* selon la norme NF T90-431. Le résultat doit être inférieur à 250 UFC/L et *Legionella pneumophila* ne doit pas être détectée.*

*Le traitement de l'eau doit comprendre une filtration avec une recirculation totale de l'eau au moins 2 fois par heure, avec au mieux un temps de recirculation de l'ordre de quelques minutes et l'injection de désinfectant faite après la filtration ; le taux de chlore stabilisé, le cas échéant, doit être compris entre 2 et 4 mg/l. la désinfection est faite en continu lorsque le bassin est en eau, même s'il n'est pas utilisé. »*

En outre, la température de l'eau doit être de 39 °C maximum et la durée de la baignade doit être inférieure à 15 minutes.

Par ailleurs, il n'existe pas de disposition spécifique relative au suivi de la qualité de l'eau des bains à remous alimentés par une eau autre que l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH). Seule une circulaire du 6 juin 1961 relative aux établissements de thalassothérapie spécifie les critères de qualité physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de mer pouvant être utilisée dans ces établissements. L'eau de mer doit être exempte d'hydrocarbure, de goudron ou autre produit toxique même sous forme de traces ainsi que de certains micro-organismes (*E. coli*, coliformes, streptocoques).

Le chapitre II du titre II du livre III de la 1<sup>re</sup> partie du CSP relative aux eaux minérales naturelles est applicable uniquement à l'exploitation des eaux minérales naturelles pour :

- ▶ Le conditionnement de l'eau ou son importation sous forme conditionnée ;
- ▶ L'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal de l'eau et de ses produits dérivés ;
- ▶ La distribution en buvette publique de l'eau, en dehors du cadre d'une cure thermale.

L'utilisation d'eaux minérales naturelles dans un autre cadre que ceux précédemment cités - comme les centres thermoludiques - n'est donc pas encadrée actuellement par cette réglementation.

### 2.1.2 Qualité de l'air

La qualité de l'air et son contrôle dans les établissements équipés de bains à remous ne sont pas encadrés par le CSP.

Cependant, une circulaire DGS/EA4/2008-65 du 22 février 2008 demande que les concentrations de trichloramine et de trihalométhanes (THM) soient mesurées deux fois par an dans l'air des établissements équipés d'un déchloramineur à rayonnement UV (DGS, 2008).

Par ailleurs, la seule disposition réglementaire relative aux bains à remous est l'application dans les établissements d'un débit d'air neuf de 22 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> par baigneur et de 18 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> par spectateur (dispositions établies par le règlement sanitaire départemental type (RSD)). Il est à noter que ce dispositif réglementaire est remplacé peu à peu par des décrets de portée nationale et qu'il ne peut désormais être modifié que pour supprimer des dispositions (et non en ajouter).

Enfin l'article R.4412-149 du Code du travail impose une valeur atmosphérique contraignante dans les lieux de travail et dans la zone de respiration des travailleurs pour le chlore de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> (0,5 ppm sur 15 minutes) et pour le chloroforme de 10 mg.m<sup>-3</sup> (2 ppm sur 8 heures) (Code du travail, 2010b).

### 2.1.3 Hygiène des sols et des surfaces

Comme dans le cadre des piscines réglementées, l'hygiène des sols et des surfaces des bains à remous n'est pas encadrée actuellement en France. Il n'existe pas de liste des produits et/ou procédés pouvant être utilisés pour le nettoyage des sols et des surfaces.



## 2.2 Étude descriptive des réglementations, normes et recommandations à l'étranger.

### 2.2.1 Qualité de l'eau et de l'air

#### 2.2.1.1 Établissements alimentés par de l'eau destinée à la consommation humaine

Il n'existe pas de réglementation de l'Union Européenne relative à la qualité de l'eau ou de l'air des établissements équipés de bains à remous.

Les tableaux III à VIII présentent une synthèse des réglementations<sup>6</sup>, recommandations<sup>7</sup> ou normes<sup>8</sup> de l'OMS et de différents pays étrangers relatives à la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des bains à remous alimentés par de l'EDCH pour lesquels des informations ont pu être obtenues.

Ils appellent les commentaires suivants :

- ▶ température : les températures de l'eau recommandées ne présentent pas de différences significatives. Seule l'Allemagne réglemente la température pour les bassins froids. Malte, la Belgique et le Royaume-Uni proposent des valeurs pour la température de l'air.
- ▶ durée de la baignade : 15 minutes est la durée de baignade recommandée par l'ensemble des pays qui a réglementé ce paramètre.
- ▶ pH de l'eau : la gamme de valeurs de pH proposée correspond au pH nécessaire pour une action optimale des désinfectants.
- ▶ concentration en désinfectant : seuls les produits chlorés sont cités. Les concentrations en chlore libre sont généralement plus élevées que celles des piscines réglementées.
- ▶ chlore combiné : plusieurs pays fixent des valeurs pour le chlore combiné, généralement inférieures à la valeur française de 0,6 mg.L<sup>-1</sup>. L'OMS recommande une valeur de 0,5 mg.L<sup>-1</sup> pour la trichloramine.
- ▶ THM : l'Allemagne et la Suisse recommandent des valeurs basses en THM identiques à celles proposées pour les piscines réglementées tandis que l'Australie recommande une valeur de 0,25 mg.L<sup>-1</sup>. Deux pays recommandent la valeur proposée par l'OMS de 0,1 mg.L<sup>-1</sup>.
- ▶ paramètres microbiologiques : la recherche de *Pseudomonas aeruginosa* et *Legionella pneumophila* a été retenue par la plupart des pays considérés. Les limites en légionelles sont cependant très disparates d'un pays à l'autre.

---

<sup>6</sup> (Journal Officiel de la République Française, 1981), (Ministero della Salute, 2003), (Gouvernement wallon, 2003), (Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale, 2002), (South Australian Health Commission, 1991), (Alberta regulation, 2006), (Ontario regulation, 2007), (Gouvernement du Québec, 2002), (Ministère de la santé Maltais, 2003).

<sup>7</sup> (OMS, 2000, 2006b), (Pool water treatment advisory group, 2009), (HSE, 2006), (NSW, health, 2010).

<sup>8</sup> (DIN, 1997) et (SIA, 2000).

### 2.2.1.2 Établissements alimentés par de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle

Très peu de pays proposent des seuils de qualité physico-chimiques ou microbiologiques pour l'eau des bassins alimentés par l'eau de mer ou l'eau minérale naturelle.

#### *Allemagne*

La norme DIN 19643-1 (1997), qui régit la qualité de l'eau des bassins alimentés par de l'EDCH s'applique également pour ceux alimentés par l'eau de mer et l'eau minérale naturelle (EMN).

Les critères physico-chimiques et microbiologiques de qualité de l'eau des bassins sont détaillés dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a). Dans le cas de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle, les substances pouvant interférer avec le traitement de l'eau doivent être éliminées notamment lorsque l'eau contient des concentrations en éléments supérieures à celles citées ci-après (Tableau I) :

**Tableau I : Concentrations des éléments à partir desquelles des traitements de l'eau spécifiques doivent être mis en place.**

Éléments	Valeurs limites (en mg.L <sup>-1</sup> )
Fer	0,1
Manganèse	0,05
Ammonium	2,0
Phosphore	0,005

Pour les bassins alimentés par l'eau de mer, le pH de l'eau du bassin doit être compris entre 6,5 et 7,8.

#### *Espagne*

La province de Murcia affiche une réglementation spécifique pour les bassins alimentés par de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle sans préciser s'il s'agit de bains à remous. Les limites de qualité d'eau requises sont présentées dans le Tableau II (Ministère de la santé de la province de Murcia, 1997).

**Tableau II : Valeurs limites de qualité microbiologiques de l'eau de mer et des eaux thermales.**

Paramètres	Valeur limites
Bactéries anaérobies	<sup>(1)</sup>
Moisissures et levures	100 UFC/ mL
Coliformes totaux	Absence dans 100 mL
<i>E. coli</i>	Absence dans 100 mL
Streptocoques fécaux	Absence dans 100 mL
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence dans 100 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence dans 100 mL
<i>Candida albicans</i>	Absence dans 100 mL
<i>Legionella pneumophila</i>	<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Au vu des résultats obtenus, les autorités de contrôle indiqueront les mesures à adopter. (Source décreto 55/1997)

#### *Suisse*

La norme SIA 385/1, relative « à l'eau et aux installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques », s'applique à l'ensemble des bassins quelle que soit l'origine de l'eau. Cette norme suisse propose des critères de qualité similaires à ceux proposés par la norme allemande citée précédemment.

## 2.2.2 Aspects techniques et traitement de l'eau

Plusieurs pays ou organisations ont mis en place des recommandations spécifiques aux bains à remous relatives aux aspects techniques et au traitement de l'eau de ces bassins.

### 2.2.2.1 OMS

L'OMS (2000) dans le projet de lignes directrices relatives aux eaux récréatives avait recommandé de suivre les préconisations du « pool water treatment advisory group » (PTWAG, 1999), décrites au § 2.2.2.4, pour la recirculation de l'eau des bains à remous, soit entre 5 et 15 minutes quelle que soit la taille du bassin. Ces préconisations n'ont pas été reprises dans le document final publié par l'OMS en 2006.

Afin de limiter la prolifération bactérienne, l'OMS préconise la réalisation d'un choc thermique à 70°C quotidiennement si le gestionnaire de l'établissement rencontre des difficultés à maintenir une concentration en désinfectant adaptée et stable dans le bain à remous.

L'OMS (2006) recommande en outre la mise en place d'une régulation automatique de la concentration résiduelle en désinfectant ainsi que du pH. Le suivi de la turbidité est également proposé afin de suivre la dégradation de la qualité de l'eau.

### 2.2.2.2 Allemagne

La norme DIN 19643-1 (1997) distingue les bassins à remous (bassins uniques spécifiques et qui correspondent à la définition française du bain à remous -définition AFNOR cf.3.1.1.-) des installations à remous (bassins à remous intégrés dans un autre bassin). Dans les deux cas, la capacité maximale instantanée de cet espace dédié est de 10 personnes et la température de l'eau doit être d'environ 37 °C.

Pour les bassins à remous (ou bains à remous), les places assises doivent être nettement délimitées, la profondeur doit être limitée à 1 m et le volume de bassin doit être au minimum de 1,6 m<sup>3</sup>, avec un volume d'au moins 0,4 m<sup>3</sup> par personne pouvant être accueilli dans ce bain à remous. La capacité maximale d'accueil d'usagers dans ces bains à remous est de 50 personnes par heure.

Pour les installations à remous, installées dans un bassin à autre usage (comme la natation par exemple), le volume du bassin à remous doit être d'au moins 4 m<sup>3</sup> pour des capacités d'accueil maximales de 50 personnes par heure. Dans le cas de capacités d'accueil supérieures, le volume du bassin doit être augmenté de 1,2 m<sup>3</sup> par tranche de 60 baigneurs supplémentaires.

Concernant l'eau d'appoint, 30 L d'eau par jour ou de manière continue doivent être ajoutés par baigneur dans le bassin lorsque le bain à remous est raccordé à un autre bassin. Dans le cas des bains à remous équipés de leur propre filière de traitement de l'eau, le renouvellement de l'eau n'est pas nécessaire puisqu'ils doivent être vidangés chaque jour.

L'entretien des bassins doit être réalisé une fois par semaine. Les bassins sont alors vidés, nettoyés et désinfectés. Pour éviter des interférences avec le traitement, l'ensemble du système doit être rincé à l'eau avant le remplissage.

Pour les bassins ayant un système de traitement individuel, des mesures complémentaires sont à appliquer : mise en place du traitement immédiat après les opérations de nettoyage, chloration automatique et ajustement de pH. A l'ouverture des bassins, un ensemble de tests doit être réalisé pour vérifier les concentrations de désinfectants, le pH, la température, etc. ; ces taux doivent être ajustés le cas échéant.

En cas de dangers microbiologiques constatés par l'exploitant, des fermetures de bassins suffisamment longues doivent être réalisées pour la mise en œuvre d'un protocole d'éradication efficace comprenant une vidange complète du système hydraulique (bassin, canalisations, pompe, etc.), un nettoyage du filtre à sable avec une solution de chlore de 30 à 50 mg.L<sup>-1</sup>, et avant

réouverture du bassin au public, un fonctionnement du bassin à vide pendant 1 ou 2 jours avec des concentrations en chlore de l'ordre de 2 mg.L<sup>-1</sup>.

➤ Cas des bains à remous d'eau froide (T < 15°C)

Ces bassins doivent avoir une profondeur comprise entre 1,1 m et 1,35 m et la surface ne doit pas excéder 10 m<sup>2</sup>.

Les bassins, dont le volume est inférieur à 2 m<sup>3</sup>, doivent être alimentés en permanence avec de l'eau dont la température ne dépasse pas 15 °C lorsqu'il est en fonctionnement. La concentration de chlore libre, contrôlée automatiquement, doit être comprise entre 0,3 et 0,6 mg.L<sup>-1</sup>.

Les bassins dont le volume est supérieur à 2 m<sup>3</sup> doivent posséder un système de traitement de l'eau.

Les bassins d'eau froide qui ne sont pas connectés à un autre bassin doivent être vidangés, nettoyés et désinfectés tous les jours.

### 2.2.2.3 Espagne

Les bains à remous doivent disposer d'un système de traitement de l'eau composé au minimum d'une filtration et d'une désinfection automatique en continu. Le temps de recyclage est de 30 minutes maximum (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2003). La vitesse maximale de filtration recommandée pour les filtres à sable est de 36,7 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>. L'eau doit être renouvelée en continu à raison de 3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pour 20 baigneurs. Un contrôle du circuit hydraulique et des filtres doit être réalisé chaque mois. Tous les 6 mois, les systèmes de jets, les douches et les robinets doivent être contrôlés et désinfectés. Tous les phénomènes de corrosion, entartrage et autres doivent également être suivis sur le circuit. Il est également recommandé un nettoyage quotidien du bassin et une désinfection de l'eau avec une concentration maximale en chlore de 5 mg.L<sup>-1</sup>.

### 2.2.2.4 Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, les lignes directrices du PWTAG et les recommandations du guide « Management of Spa Pools » publié par la Health and Safety Executive (HSE) et la Health Protection Agency (HPA) (HSE and HPA, 2006) sont préconisées (Pool Water Treatment Advisory Group, 2009). Les principales mesures proposées par ces organismes sont listées ci-dessous.

La capacité d'accueil horaire du bain à remous doit être limitée à 10 fois le volume d'eau du bassin par heure. De plus, 3 sessions de 15 minutes de baignade sont autorisées, chacune d'elles étant suivie d'une période de 5 minutes sans baigneur. Le temps de recyclage de l'eau du bassin ne doit pas dépasser 6 minutes.

Une vidange du bassin doit être réalisée lorsque le nombre de baigneurs dépasse 100 fois le volume d'eau en m<sup>3</sup> ; ce qui implique une vidange quasi quotidienne.

Un renouvellement minimum de 30 L par baigneur est exigé. De plus, un fonctionnement de 30 minutes sans baigneur à la fin de la journée pour nettoyer l'ensemble du circuit hydraulique est recommandé.

L'eau du bassin doit contenir à tout moment un résiduel de désinfectant.

### 2.2.2.5 Suisse

En mars 2009, l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) a publié des mesures préventives et correctives relatives à l'exposition aux légionelles dans les bains à remous (OFSP, 2009) qui reprennent les indications de la norme SIA 385/1 sus-citée. Les filtres des bains à remous doivent être lavés chaque jour à la fermeture du bassin.

Les bains à remous doivent être nettoyés et désinfectés chaque jour en fonction de la fréquentation et au minimum une fois par semaine. Les bassins, rigoles et tuyaux d'air doivent être

préalablement vidés. L'ensemble du circuit hydraulique et les tuyaux d'air doivent être soigneusement rincés afin d'éliminer tous les résidus de produits de nettoyage.

#### 2.2.2.6 Australie

En Australie, la réglementation relative aux piscines s'applique également aux bains à remous (Public health (swimming pools ans spa pools) regulation, 2000). Ce texte est peu détaillé et demande uniquement que l'eau soit désinfectée, sans indication sur les produits pouvant être utilisés ni précisions sur les limites de qualité de l'eau. En mai 2010, le ministère de la santé a publié un guide de bonnes pratiques sur les piscines et les bains à remous (NSW Department of Health, 2010) dont les principales recommandations sont décrites ci-dessous.

Le guide recommande l'utilisation du chlore et des produits bromés pour la désinfection des eaux de bains à remous.

Un avis médical est demandé avant l'utilisation des bains à remous pour les enfants de moins de 6 ans, les personnes malades et les femmes enceintes.

Afin de limiter le risque lié aux *Cryptosporidium spp.*, il est demandé aux personnes ayant contracté des diarrhées dans les 15 jours précédents, de ne pas se baigner. En cas de risque élevé de présence de *Cryptosporidium spp.* dans l'eau, des filtres ultra fins (filtre medium) et une circulation continue pendant 24 heures sont alors recommandés.

Le débit de circulation est calculé en fonction de la FMI :  $D = FMI \times 1,7$ .

Le temps de recirculation de l'eau du bassin doit être de 20 minutes maximum.

L'utilisation de chlore stabilisé dans les bains à remous est déconseillée.

Un système de circulation séparé est préconisé pour les bains à remous.

Les filtres à sable couplés à un coagulant sont préconisés. L'ensemble du circuit doit être vérifié annuellement. Certains points critiques doivent être contrôlés plus régulièrement comme l'approvisionnement en eau après chaque fermeture, les skimmers une fois par semaine, les points d'eaux usées nettoyés quotidiennement.

### 2.3 Points à retenir

Les tableaux suivants (tableaux III à VIII) reprennent les principales normes et réglementations qui s'appliquent dans les bains à remous dans les pays européens, mais également en Australie et au Canada. Les recommandations de l'OMS sont également présentées. Les tableaux retranscrivent les valeurs guides et impératives pour les paramètres physiques (tableau III), les paramètres chimiques (tableau IV), les paramètres liés aux désinfectants (tableau V), les paramètres liés aux sous-produits de désinfection (tableau VI), les paramètres microbiologiques (tableau VII) ainsi que les différentes prescriptions techniques liées à l'entretien et au traitement de l'eau des bains à remous (fréquences de vidange, vitesse de recirculation) (tableau VIII).

On peut constater une forte disparité des réglementations, à la fois dans les paramètres qui sont suivis et/ou dans les seuils afférents. Seuls l'Allemagne et le Royaume-Uni ont une législation véritablement dédiée aux bains à remous, tandis que les autres pays appliquent la même réglementation que celle visant les piscines.

Tableau III : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres physiques.

Paramètres	France	OMS	Royaume-Uni		Allemagne	Belgique	Canada			Suisse	Espagne	Malte	Australie	
			PTWAG	HSE		Wallonie	Alberta	Ontario	Quebec				NSW	South australian commission code
Transparence (vision du fond du bassin)	oui					oui								
Durée de la baignade (min)	< 15		15	15				15						
Turbidité		< 0,5 NTU	0,5 NTU		0,5 FNU				<1 UTN	≤ 0,2 TE/F	0,5 NFU	0,5 NTU	0,5 NTU	
Température de l'eau (° C)	< 39	40	40	35-40	37			40			30-42	27-30	38	35-37 Max 40
bassins froids					15									
Température de l'air (nombre de ° C supérieurs à la température de l'eau)				1		>2						1		

Tableau IV : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres chimiques.

Paramètres	France	OMS	Royaume Uni	Allemagne	Belgique	Canada			Suisse		Espagne	Malte	Australie		
					Wallonie	Alberta	Ontario	Québec	Souhaité	toléré			NSW	South australian commission code	
Oxydabilité en milieu alcalin à chaud (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	4*			3	5					3	5		10		
pH	6,9 - 7,7	7,2-7,8	7,0 – 7,6	6,5-7,2	7,0-7,6	6,8-7,6	7,2 – 7,8	7.2-7,8	7,0-7,4	6,8-7,6	7,2-7,8	7,2-7,6	7,2-7,6 Max 7,8	7.2 -7,6	
Urée (mg.L <sup>-1</sup> )					2,0					1,0				0,8	

\* Augmentation maximale par rapport à l'eau d'alimentation

Tableau V : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des résiduels de désinfectant.

Paramètres	France	OMS	Royaume- Uni	Allemagne	Belgique	Canada			Suisse		Espagne	Malte	Australie	
			HSE		Wallonie	Alberta	Ontario	Quebec	Souhaité	toléré			NSW	South australian commission
Chlore libre actif (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4-1,4	2,0 - 3,0	3,0 – 5,0	0,7- 1,0  0,3-0,6  (pour les bassins froids)		1 lorsque T < 30 °C  2 lorsque T > 30°C	5- 10	2,0 – 3,0 si T ≥ 35°C	0,7- 1,0	0,7- 1,5	2-5	1-3	>2	Min 4,0
Chlore libre mesuré (mg.L <sup>-1</sup> )					0,5 - 1,5									
acide cyanurique (mg.L <sup>-1</sup> )	≤75		<200				< 150					30-60	50	30-50
chlore stabilisé (mg.L <sup>-1</sup> )	≥ 2													
Chlore combiné (mg.L <sup>-1</sup> )	≤ 0,6	0,2	0 (1 toléré)	0,2				bassin intérieur: ≤ 0,5 mg/L <sup>-1</sup>  bassin extérieur: ≤ 1,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,2	0,3		0,5-1	0,5	
Chlore total(mg.L <sup>-1</sup> )												Max 10	Max 10	Valeur du chlore libre + 1,0



Tableau VI : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des sous-produits de désinfection.

Paramètres	France	OMS	Italie	Royaume-Uni	Allemagne	Belgique	Suisse		Malte	Australie
						Wallonie	souhaité	toléré		NSW
Trichloramine (mg.L <sup>-1</sup> )		0,5								
Chloroforme (mg.L <sup>-1</sup> )										
Chlorures à l'exception des bassins salés (mg.L <sup>-1</sup> )						800				
THM (mg.L <sup>-1</sup> )				0,1	0,02		0,03		0,1	0,25

Tableau VII : Comparaison des réglementations ou normes préconisées dans différents pays pour le suivi des paramètres microbiologiques.

Paramètres	France	OMS (2006)	Royaume Uni	Allemagne	Belgique	Canada		Suisse		Espagne	Malte	Australie
			HSE		Wallonie	Alberta	Québec	souhaité	toléré			NSW
Coliformes totaux (UFC/100 mL)	≤ 10		Absence									
Bactérie hétérotrophes (UFC/mL)		< 200				< 100						< 100
Coliformes thermotolérants ou <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	Absence	<1	Absence	Non détectable		<1	<1				< 1	<1
Entérocoques ou Streptocoques fécaux (UFC/100 mL)					0						< 1	
Bactérie aérobies revivifiables à 22 °C (UFC/mL)				100								
Bactérie aérobies revivifiables à 37 °C (UFC/mL)	≤ 100	100	<10 UFC/mL	100	100						1000	
Staphylocoques pathogènes (UFC/100 mL)	Absence dans 90 % des échantillons	< 30 dans 15 % des échantillons			0		< 30					
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/100 mL)	< 1	<1	<10	Non détectable	0	<1		0			< 10	<100
Legionelles	<i>Legionella spp</i> < 250 UFC/L  et <i>Legionella pneumophila</i> non détecté  (en cas de legionellose)	<i>Legionella spp</i> <1 dans 100 mL	<i>Legionella spp</i> <100 UFC/L	<i>Legionella pneumophila</i> Non détectable dans 1 mL					<i>Legionella pneumophila</i> Non détectable dans 100 mL de filtrat	<i>Legionella pneumophila</i> Absence dans 1L	<i>Legionella spp</i> < 1000 UFC/L	

**Tableau VIII : Comparaison des réglementations ou normes relatives aux prescriptions techniques de traitement de l'eau préconisées dans différents pays.**

Paramètres	Accès du public	Vidange	Recirculation	Installation de dosage automatique de l'installation de désinfection
France		a) 1 fois par semaine lorsque l'utilisation est modéré ; b) Plusieurs fois par semaine voire 1 fois par jour en cas d'utilisation importante ; Systématiquement dès lors que la situation est dégradée.	Recirculation totale de l'eau au moins 2 fois par heure, avec au mieux un temps de recirculation de l'ordre de quelques minutes	oui
OMS			Recirculation totale de l'eau entre 5 et 15 minutes	-
Espagne			< 30 minutes	oui
Royaume- Uni		A chaque fois que la fréquentation dépasse 100 fois le volume du bassin en m <sup>3</sup>	30 L par baigneur	-
Allemagne		Quotidienne pour les bains à remous équipés de leur propre filière de traitement de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30L par baigneur</li> <li>• Inutile pour les bains à remous équipés de leur propre filière de traitement de l'eau</li> </ul>	oui
Suisse		quotidienne	75 L par baigneur	oui
Malte				-
Australie	Certificat médical pour les enfants de moins de 6 ans, les personnes malades et les femmes enceintes		< 20 minutes	-

## 3 Descriptif et traitements

### 3.1 Typologie des bains à remous et définitions

#### 3.1.1 Bain à remous

Selon l'AFNOR, un bain à remous, quelle que soit son eau d'alimentation, est « *un bassin spécifique comprenant des places assises et/ou semi-allongées, à usage ludique et/ou de bien être, et équipé d'injection d'air et dont l'eau est filtrée, désinfectée et désinfectante, recyclée et renouvelée* » (NF P90-320, AFNOR, 2009).

Cette définition de l'AFNOR a été retenue par le GT car elle permet de lever une confusion qui existe aujourd'hui : le terme de « spa » désigne aussi bien un bain à remous (exemple : jacuzzi®) qu'un établissement de bien être. Le groupe de travail propose donc de ne plus utiliser le terme « spa » pour désigner un bain bouillonnant et de n'utiliser que le terme « bain à remous ».<sup>9</sup>

#### 3.1.2 Bain à remous à nage forcée

Parallèlement aux bains à remous, dont l'objectif principal est la relaxation, se sont récemment développés des bains, que les professionnels des piscines dénomment « spas de nage ». Afin d'éviter une éventuelle confusion entre le bassin et l'établissement, le groupe de travail propose d'appeler ces bassins, « bains à remous à nage forcée ».

Ces bassins sont équipés d'un système de nage à contre-courant produit par des jets qui créent un courant de force variable dans le bassin. Selon la fédération des professionnels de la piscine (FPP), ils sont alimentés par une eau dont la température est comprise entre 30 et 32 °C.

Ces installations sont relativement rares à ce jour dans les établissements accueillant du public. Elles ne seront donc pas considérées dans la suite de ce rapport. Il faut cependant noter que, compte tenu de la température de l'eau du bassin supérieure à celle d'une piscine réglementée et de l'agitation de l'eau créée par le contre-courant, les risques liés à ce type de bassin ne sont pas sensiblement différents de ceux des bains à remous.

#### 3.1.3 Établissement thermoludique

La norme NFX 50-910 relative à la terminologie des établissements thermaux définit une eau thermale comme une eau minérale naturelle exploitée dans un établissement thermal. Cet établissement utilise sur place, ou par adduction directe, des eaux minérales naturelles à des fins thérapeutiques (Afnor, 2000).

En conséquence, le groupe de travail propose de définir un établissement thermoludique comme un établissement utilisant de l'eau minérale naturelle pour l'exercice d'activités aquatiques à des fins non thérapeutiques.

### 3.2 Typologie de l'eau d'alimentation selon son origine et sa nature

93 % des bains à remous recensés dans la base SISE-Eaux sont alimentés par de l'EDCH, 4 % par de l'EMN, 1,7 % par de l'eau de forage, 0,4 % par de l'eau de mer et 0,1 % par de l'eau de

---

<sup>9</sup> Le terme « spa » est couramment employé par les professionnels de la piscine et désigne un bain à remous dont la température de l'eau est comprise entre 30 et à 36°C (d'après l'audition de la FPP du 16 septembre 2010), et présentant un circuit hydraulique indépendant (non relié à un autre bassin).

surface. Le traitement de l'eau peut modifier la composition physico-chimique de l'eau, ne permettant plus à certaines eaux dans le bassin d'être qualifiées par le même terme que l'eau d'alimentation. Les typologies et descriptions ci-dessous se rapportent donc à la ressource en eau et non à l'eau présente dans le bassin.

### 3.2.1 Eau destinée à la consommation humaine

Le cadre réglementaire visant l'EDCH est fixé par le CSP et ses textes d'application. Les articles R-1321 et suivants précisent 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 sortes de substances constituant un danger pour la santé des personnes* ». L'eau ne doit être ni agressive, ni corrosive.

Les exigences de qualité portent sur des paramètres microbiologiques, chimiques ou radiologiques. Les modalités du suivi des installations de production et de distribution (surveillance par l'exploitant et contrôle sanitaire par l'ARS) sont fixées par le CSP.

### 3.2.2 Eau minérale naturelle

Selon l'article R.1322 -1 du CSP, « *l'eau minérale naturelle fait l'objet d'une reconnaissance et d'une autorisation par le représentant de l'Etat dans le département pour :*

- 1° *L'exploitation de la source ;*
- 2° *Le conditionnement de l'eau ;*
- 3° *L'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ;*
- 4° *La distribution en buvette publique.*

*II. - Toute modification notable des caractéristiques de l'eau minérale naturelle ou tout changement notable des conditions d'exploitation de la source doit faire l'objet d'une demande de révision de la reconnaissance ou de l'autorisation d'exploitation. »*

Selon l'article R.1322-2 du CSP, « *une eau minérale naturelle est une eau microbiologiquement saine, répondant aux conditions fixées par l'article R.1322-3, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source. Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée.*

*Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine :*

1. *Par sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux, oligoéléments ou autres constituants ;*
2. *Par sa pureté originelle, l'une et l'autre caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution.*

*Ces caractéristiques doivent avoir été appréciées sur les plans géologique et hydrogéologique, physique, chimique, microbiologique et, si nécessaire, pharmacologique, physiologique et clinique, conformément aux dispositions des articles R.1322-5 et R.1322-6. »*

La classification s'appuie sur la minéralisation ou la composition physico-chimique. Ces eaux utilisées dans le cadre de l'activité de thermoludisme, peuvent être classées de manière similaire à

celles des eaux minérales naturelles décrites dans les lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire (Afssa, 2008a).

### 3.2.2.1 La minéralisation :

« Les eaux minérales peuvent être classées en cinq catégories :

- ▶ les eaux très faiblement minéralisées : minéralisation inférieure à  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ ,
- ▶ les eaux faiblement minéralisées : minéralisation comprise entre 50 et  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ ,
- ▶ les eaux moyennement minéralisées : minéralisation comprise entre 500 et  $1\,000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,
- ▶ les eaux minéralisées : minéralisation comprise entre  $1\,000$  et  $1\,500 \text{ mg.L}^{-1}$ ,
- ▶ les eaux fortement minéralisées : minéralisation supérieure à  $1\,500 \text{ mg.L}^{-1}$ . »

### 3.2.2.2 La composition physico-chimique de l'eau :

« Pour caractériser et différencier ces eaux, il est nécessaire de prendre en compte leur profil physico-chimique et leurs dérivés. La classification se fait alors en considérant certains paramètres originaux susceptibles d'avoir un rôle ou une action particulière, tels que :

- ▶ la température,
- ▶ le pH,
- ▶ les ions :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , etc. ,
- ▶ la silice soluble  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , exprimée en  $\text{SiO}_2$  ;
- ▶ les gaz dissous  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  ;
- ▶ les dépôts ou les phases solides en suspension.

Cela conduit, en fonction de la présence prédominante d'un ou de plusieurs de ces paramètres, à distinguer les catégories spécifiques suivantes (Afssa, 2008a) :

- ▶ les eaux sulfurées ;
- ▶ les eaux sulfatées ;
- ▶ les eaux chlorurées sodiques ;
- ▶ les eaux faiblement minéralisées ;
- ▶ les eaux ferrugineuses ;
- ▶ les eaux bicarbonatées gazeuses.

Chacune de ces catégories est décrite en annexe 6.

### 3.2.3 Eau de mer

D'un point de vue physico-chimique, l'eau de mer naturelle est composée de molécules d'eau (96,7 %), de gaz dissous (comme  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ar et  $\text{CO}_2$ ) et de sels dissous (3,3 %). Ces sels sont majoritairement NaCl, KCl,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  et  $\text{CaSO}_4$  (Tableau IX). Le pH moyen d'une eau de mer est de 8,1 (Ohya *et al.*, 2001). La salinité, qui représente la somme totale de ces ions est comprise entre 35 et  $39 \text{ g.L}^{-1}$ , à l'exception de la Mer Baltique (S=7) et de la Mer Rouge (S=45) (Millero *et al.*, 2008).

**Tableau IX : Composition chimique de l'eau de mer naturelle.**

Eléments	Concentration moyenne pondérée	Variation à la surface du globe	Eléments	Concentration moyenne pondérée	Variation à la surface du globe
As	1,7 µg.kg <sup>-1</sup>	1,1-1,9 µg.kg <sup>-1</sup>	K	399 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
Al	0,54 µg.kg <sup>-1</sup>	0,01-1,2 µg.kg <sup>-1</sup>	Li	0,174 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
B	4,5 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Mg	1290 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
Ba	14 µg.kg <sup>-1</sup>	4-20 µg.kg <sup>-1</sup>	Mn	0,014 µg.kg <sup>-1</sup>	0,005- 0,2 µg.kg <sup>-1</sup>
Br	67 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Na	10770 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
C total	27,6 mg.kg <sup>-1</sup>	24-30 mg/kg	N total	0,42 mg.kg <sup>-1</sup>	0,1-0,63 mg.kg <sup>-1</sup>
Ca	412 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Ni	0,5 µg.kg <sup>-1</sup>	0,1-0,7 µg.kg <sup>-1</sup>
Cd	0,08 µg.kg <sup>-1</sup>	0,0001 – 0,12 µg.kg <sup>-1</sup>	P	70 µg.kg <sup>-1</sup>	0,1 – 110 µg.kg <sup>-1</sup>
Cl	19354 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Pb	0,002 µg.kg <sup>-1</sup>	0,001- 0,035 µg.kg <sup>-1</sup>
Cs	0,29 µg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Rb	0,12 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
Cu	0,25 µg.kg <sup>-1</sup>	0,03 – 0,4 µg.kg <sup>-1</sup>	S total	904 mg.kg <sup>-1</sup>	Jusqu'à 2712 mg.kg <sup>-1</sup>
F	1,3 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable	Si	2,8 mg.kg <sup>-1</sup>	0,02 – 5 mg.kg <sup>-1</sup>
Fe	0,055 µg.kg <sup>-1</sup>	0,005 – 0,140 µg.kg <sup>-1</sup>	Sr	7,9 mg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
Hg	0,001 µg.kg <sup>-1</sup>	0,0004 – 0,002 µg.kg <sup>-1</sup>	U	3,3 µg.kg <sup>-1</sup>	Pas de variation notable
I	50 µg.kg <sup>-1</sup>	25 – 65 µg.kg <sup>-1</sup>	Zn	0,4 µg.kg <sup>-1</sup>	<0,01 – 0,6 µg.kg <sup>-1</sup>

(D'après Summerhayes et Thorpe, 1996)

Il n'existe actuellement pas de référence réglementaire quant à la concentration maximale en matières organiques pour une eau de mer alimentant un bassin atypique. Or, si une eau de mer non contaminée présente une teneur en carbone organique dissous comprise entre 0,5 et 4 mg C.L<sup>-1</sup>, cette teneur peut atteindre jusqu'à 20 mg C.L<sup>-1</sup> pour les eaux côtières fortement anthropisées (Rapenne, 2007 ; Benner, 2003 ; Coulomb *et al.*, 2006). Il semble donc nécessaire de fixer une valeur seuil pour le paramètre carbone organique total (COT) pour l'eau de mer servant à alimenter ces bassins atypiques afin d'y limiter la formation de sous-produits de désinfection.

En effet, certains paramètres ont un impact notable sur la turbidité de l'eau. Ces composés particuliers peuvent être classés selon leur dimension ou selon leur nature :

- ▶ organique : sous-produits de dégradation des micro-organismes.
- ▶ inorganique : argiles, feldspaths, quartz, calcite, *etc.*

La présence d'organismes vivants (virus, bactéries, parasites, phytoplanctons, zooplanctons, *etc.*) peut différer largement suivant les zones géographiques et, surtout, suivant l'exposition aux pollutions d'origine anthropique. Les données bibliographiques relatives aux teneurs en micro-organismes dans l'eau de mer concernent principalement les bactéries. Ainsi, la population bactérienne dans l'eau de mer naturelle varie entre 10<sup>3</sup> bactéries par mL dans les eaux *oligotrophes* et 10<sup>7</sup> bactéries par mL dans les eaux *eutrophes* (Stolp, 1998). Dans les habitats *neustoniques*, la concentration en matière organique est élevée et le nombre de bactéries dépasse souvent 10<sup>8</sup> particules par mL.

### 3.2.4 Autres types d'eaux

Depuis quelques années, des établissements utilisent de l'eau de mer reconstituée pour l'alimentation des bassins. Le groupe de travail propose d'utiliser le terme *d'eau salée* « synthétique » plutôt que celui *d'eau de mer reconstituée* pour désigner ce type d'eau, car elle ne contient pas tous les éléments constitutifs d'une eau de mer naturelle.

Certains établissements utilisent des eaux souterraines captées par forage ou des eaux superficielles captées par pompage, pour alimenter tout ou une partie de leurs bassins aquatiques. Ces eaux peuvent présenter des contaminations microbiologiques et physicochimiques qui nécessitent avant leur utilisation, un traitement approprié.

L'utilisation d'eau de pluie récoltée à partir des toitures présente une qualité physico-chimique et microbiologique dégradée qui ne permet pas de l'utiliser pour l'alimentation des bains à remous sans un traitement au préalable.

Ces différents types d'eau ne seront pas considérés dans la suite du rapport. Pour rappel, l'utilisation de ces types d'eaux pour alimenter les bains à remous doit faire l'objet d'une autorisation préfectorale.

### 3.3 Fonctionnement et traitements d'un bain à remous

#### 3.3.1 Fonctionnement

Il existe deux systèmes de bullage qui peuvent être installés seuls ou ensemble dans un bain à remous :

► Système eau/air par hydrojets

Alimentés par la pompe, les hydrojets sont les éléments mécaniques qui donnent le mouvement final du massage. L'eau est poussée par la pompe et l'air est aspiré par effet Venturi (figure 1). Ce couple eau/air est injecté par des buses situées au niveau du dos, de la nuque et du cou et/ou des buses situées au niveau des jambes. La puissance des hydrojets est réglable pour chaque siège et chaque jet.



- 1- Arrivée d'eau sous pression poussée par la pompe dans un tube qui rétrécit dans le but d'augmenter la vitesse de l'eau ;
- 2- Arrivée d'air ;
- 3- Mélange eau/air ;
- 4- Selon la buse, puissance et direction du jet variable.

**Figure 1 : Principe de fonctionnement des hydrojets.**

(source : <http://www.vandjour.com>)

► Système par injection d'air surpressé :

Un surpresseur (appelé « blower ») injecte de l'air au travers de petites buses situées au fond du bassin (appelés aérojets). Les bulles remontent à la surface du bassin. Ce système nécessite une température de l'air identique à celle de l'eau afin d'éviter un refroidissement de cette dernière.



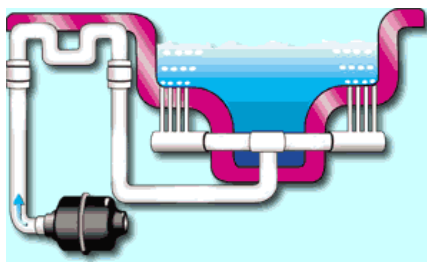


Figure 2: Schéma d'un système à blower.

Source (<http://www.vandjour.com> visité le 28 septembre 2011)

Il existe de nombreux modèles de buses permettant d'orienter le jet, de réguler la pression de l'eau et de réguler la répartition de l'air et de l'eau. Toutes ces buses présentent des dimensionnements différents (Figure 3 et 4) et peuvent générer des bulles de plus ou moins grande taille, à l'origine de la formation d'aérosols (cf. chapitre 4.1.2).

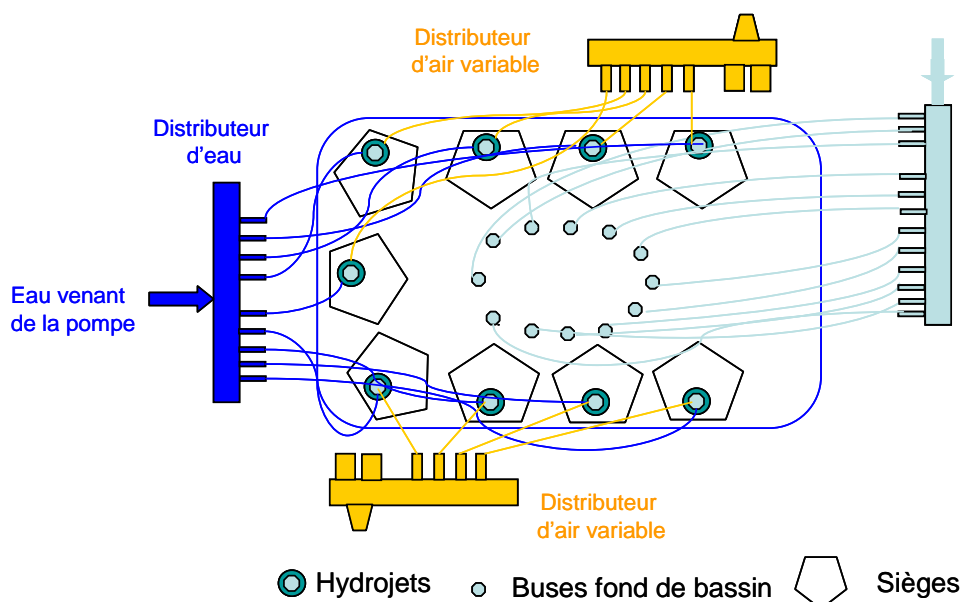


Figure 3 : Représentation schématique de la distribution en eau et en air des hydrojets.

Les bullages importants entraînent une humidification de l'air, difficile à contrôler. Les buses d'air peuvent également s'entartrer. Ainsi, lorsque le titre hydrotimétrique de l'eau d'alimentation du bassin est supérieur à 20 ° français, il y a formation de  $\text{CaCO}_3$ . De plus, les bullages issus des aérojets compliquent le maintien en teneur en désinfectant résiduel du fait de l'aération forcée. Les hydrojets seraient donc de ce point de vue plus favorables (aux dires des gestionnaires d'établissements équipés de bains à remous).

A l'arrêt du bullage, les canalisations d'injection d'air se remplissent d'eau dont la qualité peut se dégrader si cet arrêt est prolongé, et notamment être le siège de formation de biofilms (Goeres *et al.*, 2007).

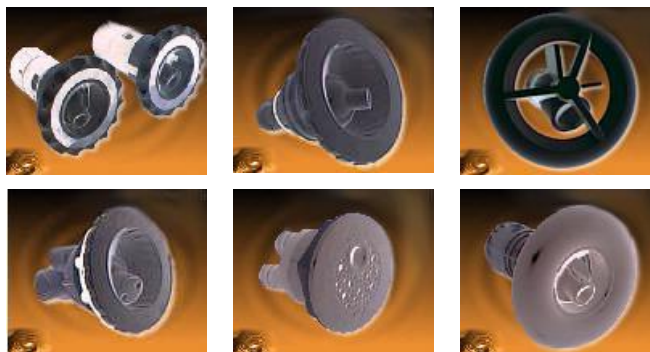


Figure 4 : Exemples de buses équipant les hydrojets.

### 3.3.2 Traitement de l'eau

Pour respecter les obligations de résultats et de moyens précédemment évoquées, l'eau des bains à remous doit être traitée.

A cet effet l'eau est recirculée et le traitement comprend deux étapes essentielles :

- ▶ l'élimination physico-chimique des particules solides en suspension et des matières colloïdales par filtration. Cette étape permet également d'éliminer un certain nombre de micro-organismes ;
- ▶ le traitement de désinfection afin d'éliminer les micro-organismes encore présents dans l'eau et certaines matières dissoutes (ammoniaque, matières organiques, etc.).

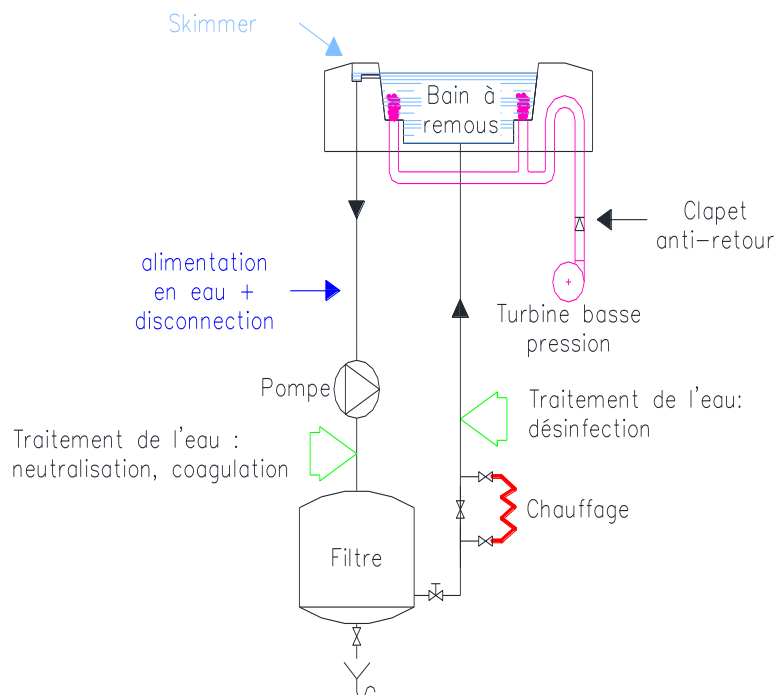
Dans le cas des bains à remous la température élevée de l'eau et l'agitation de l'eau des bains à remous entraînent un dégagement de CO<sub>2</sub> et le pH a tendance à augmenter. C'est pourquoi une concentration stable en désinfectant est difficile à maintenir.

#### 3.3.2.1 Circuit hydraulique

Sur le marché français, trois types de filières de traitement de l'eau des bains à remous sont actuellement commercialisés :

- ▶ les filières de traitement sans bassin tampon ;
- ▶ les filières de traitement équipées d'un bac tampon ;
- ▶ Les filières de traitement communes avec un bassin de natation.

*Les bains à remous sans bac tampon*



**Figure 5 : Exemple de circuit hydraulique d'un bain à remous à traitement simple.**

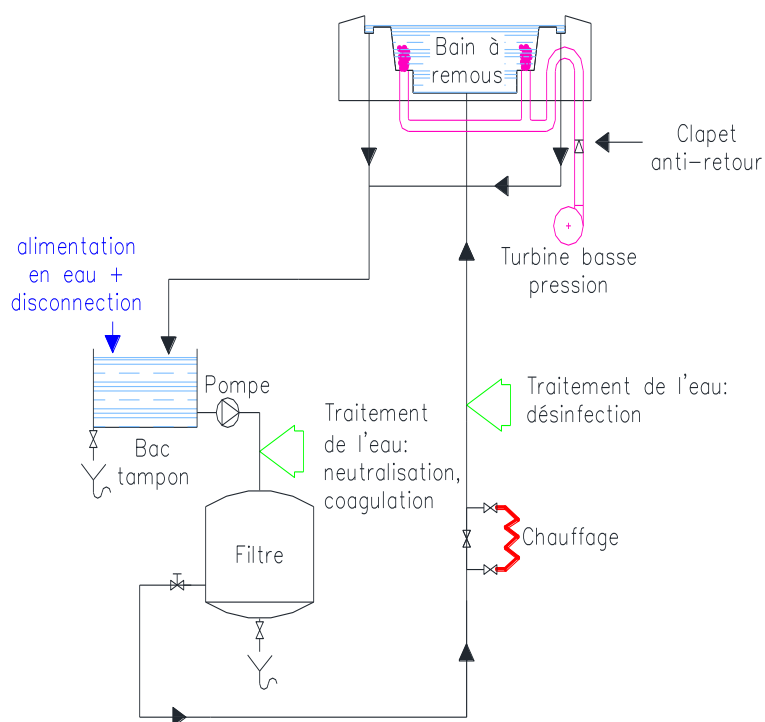
Le circuit hydraulique est isolé et n'est pas équipé d'un bac tampon. Les eaux sont recyclées par une aspiration directe au niveau des parois du bassin, du fond ou par un système d'écumeurs de surface.

Les eaux sont ensuite filtrées, avant d'être désinfectées et distribuées dans le bassin au niveau des parois.

Le traitement sur ce type d'installation est difficile à maîtriser et à adapter en fonction de la variation de la fréquentation. Les anomalies suivantes sont fréquemment constatées :

- ▶ la concentration en chlore est très fluctuante et les exigences réglementaires en vigueur ne sont pas souvent respectées ;
- ▶ la concentration en chlore combiné augmente rapidement et dépasse nettement la limite réglementaire de  $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$  ;
- ▶ l'air ambiant se charge de composés chlorés tels que la trichloramine ;
- ▶ la qualité physico-chimiques de l'eau (turbidité, transparence due à la présence de matières organiques) se dégrade ;
- ▶ la qualité microbiologique s'altère également.

*Les bains à remous équipés d'un dispositif de traitement des eaux comprenant un bac tampon*



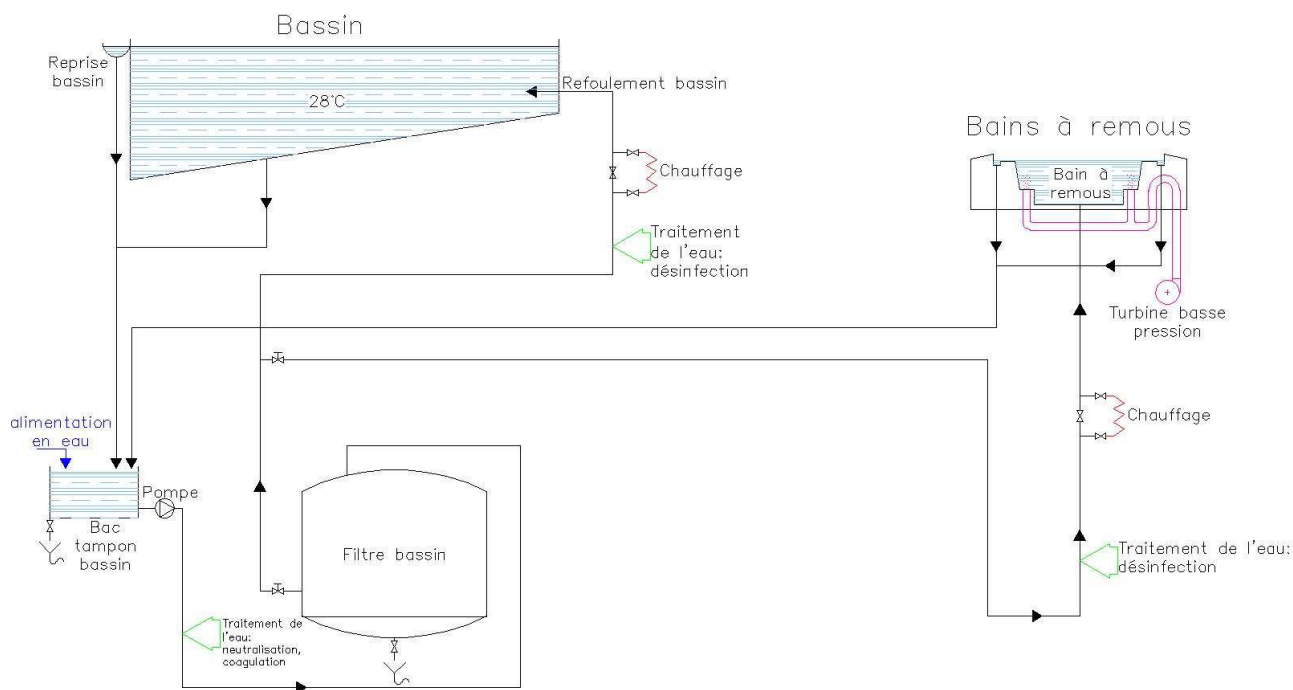
**Figure 6 : Exemple de filière de traitement de l'eau d'un bain à remous équipé d'un bac tampon.**

Afin d'améliorer l'efficacité du traitement, les professionnels de la piscine proposent aujourd'hui l'adjonction d'un bac tampon dans le circuit du recyclage de l'eau.

Le bac tampon permet :

- ▶ de recueillir en permanence par surverse du bassin dans une goulotte périphérique, la totalité des eaux de surface évacuées gravitairement. Ces eaux sont souvent plus chargées en matière organique (produits cosmétiques, huiles solaires, sécrétions rhinopharyngées, etc.) que les eaux d'un bassin de natation ;
- ▶ de mieux maîtriser le fonctionnement hydraulique du dispositif de traitement de l'eau notamment de réguler la filtration et la désinfection ;
- ▶ de garantir la disconnexion entre les eaux du bain à remous et l'eau du réseau public d'alimentation.

*Les bains à remous équipés d'un traitement commun avec des eaux issues d'un bassin de natation*



**Figure 7 : Exemple de filière de traitement commun de l'eau d'un bain à remous et d'un bassin de natation.**

Les eaux de recyclage du bassin à remous, recueillies par goulottes périphériques, rejoignent gravitairement le bac tampon d'un autre bassin (souvent un bassin de natation).

Le mélange des eaux des deux bassins présente les avantages de permettre une dilution importante de la pollution des eaux du bassin à remous (en matières organiques, composés chlorés, chlorures, etc.), mais aussi d'obtenir une meilleure stabilité de la concentration en désinfectant et du pH. Il permet de mieux faire face à une forte fréquentation ponctuelle.

En revanche, une forte contamination microbiologique du bain à remous risque d'affecter l'autre bassin (et donc imposer d'adapter le traitement de désinfection et de fermer provisoirement éventuellement les deux bassins). Un autre inconvénient de cette solution réside avant tout dans la nécessité de réchauffer l'eau introduite dans le bain à remous.

### 3.3.2.2 Filtration

La filtration est une étape essentielle dans la filière de traitement car elle permet de retenir les particules de nature minérale ou organique ainsi qu'une partie des micro-organismes. Cette étape conditionne la bonne transparence de l'eau et l'efficacité de la désinfection. Pour améliorer son efficacité, elle peut être précédée d'une étape de coagulation-floculation.

Plusieurs types de filtres peuvent être utilisés en fonction de :

- ▶ la qualité et de la nature de l'eau utilisée ;
- ▶ la surface et du nombre de filtres nécessaires ;
- ▶ la vitesse de filtration requise (plus la vitesse de filtration est élevée, plus l'efficacité de filtration diminue) ;
- ▶ la facilité d'utilisation (remplacement, entretien, etc.) ;
- ▶ la méthode de décolmatage souhaitée (lavage à contre-courant, recyclage, remplacement, etc.) ;
- ▶ le degré de formation des personnels chargés de l'entretien de ces filtres.

Quatre catégories principales de filtre sont habituellement utilisées à sable, à cartouches, à diatomites, à poches.

- Filtres à sable

Ce sont les médias filtrants les plus répandus dans les établissements de bains à remous, en raison de leur robustesse (plusieurs dizaines d'années de durée de vie pour les filtres avec un remplacement du sable tous les 5 à 7 ans), de leur facilité d'entretien et de leur faible coût d'exploitation. Précédé d'une étape de coagulation-floculation (sels d'aluminium, sels de fer, etc.), les filtres à sable permettent de retenir des particules de taille supérieure à 7 µm. Une vitesse de filtration comprise entre 15 et 20 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, conjuguée à l'ajout d'un coagulant, une faible granulométrie et une bonne épaisseur de sable (entre 60 et 120 cm), sont des dispositions appropriées pour le traitement de filtration des eaux des bains à remous.

- Filtres à cartouches

Ces filtres peuvent retenir les particules de taille supérieure à 10 µm et ont une durée de vie limitée à 2 ans. Le média filtrant peut être du papier traité ou du polyester filé. Le nettoyage de ces filtres doit être très fréquent et nécessite une dépose de la cartouche. La vitesse de filtration est limitée et ne doit pas excéder 1,5 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.

- Filtres à diatomites

Ces filtres peuvent retenir des particules de taille supérieure à 2 µm. Ils se composent d'éléments filtrants sous forme de plateaux ou de bougies couvertes d'une toile en fibres synthétiques (polyester, nylon, etc.) recouverts d'une fine couche de diatomites. Ces filtres doivent être décolmatés tous les jours (lavage à contre-courant) et la diatomite remplacée régulièrement. L'utilisation de ces filtres nécessite l'utilisation d'un bac de rétention pour collecter le média filtrant avec élimination périodique des boues. La vitesse de filtration usuelle pour ce type de filtre est de 3 à 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h.

- Filtres à poches (ou filtres poches)

Les filtres à poches (communément appelés « filtres-chaussettes ») sont fréquemment rencontrés dans les établissements alimentés par une eau autre que l'EDCH. Ils sont constitués de fibres creuses en polypropylène. Les particules retenues sont de taille inférieure à 15-20 µm. Les vitesses de filtration usuelles sont de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>.

### 3.3.2.3 Désinfection

L'analyse de la base SISE-Eaux a montré que la majorité des bains à remous en France sont désinfectés par des produits chlorés.

En effet, les produits à base de brome pur ne sont plus autorisés comme désinfectant des eaux de piscines car ils ne figurent pas à l'annexe II du règlement 1451/2007/CE concernant la mise sur le marché des produits biocides.

Par ailleurs, suite à l'avis de l'Agence relatif à l'autorisation d'utilisation du produit Revacil® (substance active PHMB) comme produit de désinfection des eaux de piscines publiques et privées recevant du public publié en juin 2010, ce composé ne figure plus sur la liste des produits et procédés de désinfection et de déchloration des eaux de piscines agréés par le ministère chargé de la santé à la date du 28 janvier 2011 (Afsset, 2010b).

L'acide hypochloreux (HClO) est la forme désinfectante du chlore. En solution, il se dissocie dans l'eau en ions ClO<sup>-</sup> et H<sup>+</sup>. L'équilibre en ces deux formes dépend du pH et de la température (Figure 8). A des pH compris entre 6,5 et 8,5, les formes ClO<sup>-</sup> et HClO coexistent ; en-dessous de 6,5, seule la forme HClO existe ; au-delà de 8,5, la forme ClO<sup>-</sup> prédomine. La plage optimale de pH pour la désinfection au chlore de l'eau, quelle que soit la température, est comprise entre 6,9 et 7,7.

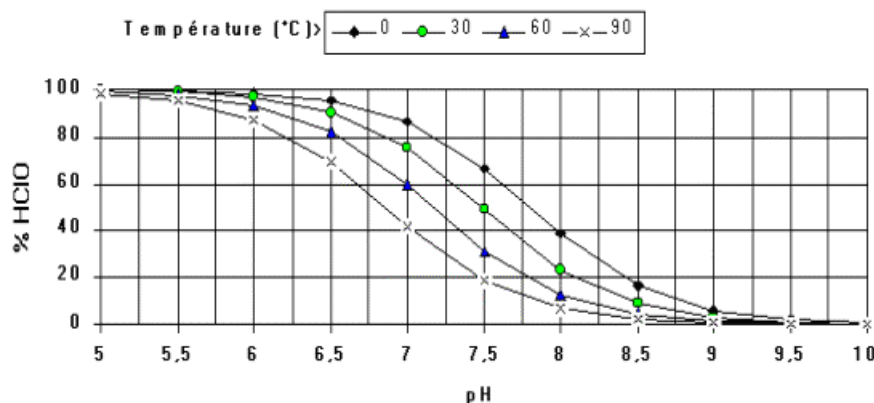


Figure 8 : Fraction de la forme HClO en fonction du pH et de la température.

Une diminution de la température de l'eau entraîne une diminution de l'efficacité désinfectante du chlore (augmentation nécessaire du temps de contact quand la température baisse). *A contrario*, à température élevée, la cinétique de désinfection est plus rapide mais la stabilité du chlore est plus faible.

L'augmentation de la température (combinée au bullage des bains à remous) entraîne également un dégazage du CO<sub>2</sub> présent dans l'eau, provoquant une augmentation du pH. Cette évolution de pH va agir directement sur la proportion des espèces HClO et ClO<sup>-</sup> et donc avoir un impact sur l'efficacité de désinfection.

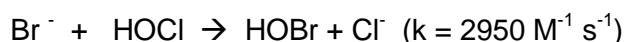
Les gestionnaires d'établissements auditionnés ont confirmé la difficulté qui en résulte pour maintenir une teneur résiduelle en désinfectant satisfaisant les critères réglementaires en vigueur.

En présence d'usagers, la concentration en désinfectant peut baisser au-dessous de la valeur réglementaire en cas de forte fréquentation (réaction du désinfectant avec les composés organiques apportés par les baigneurs et formation de sous-produits). Inversement si la fréquentation du bain à remous diminue, le taux de désinfectant peut augmenter au-delà des valeurs réglementaires.

En l'absence d'utilisateur, se produit également une volatilisation du désinfectant liée à la température élevée de l'eau et à son aération mécanique par les « blowers » ou les buses.

#### Cas particulier du traitement des eaux de mer

La désinfection des bains à remous alimentés par de l'eau de mer est également réalisée par des produits chlorés (chlore gazeux, hypochlorite de sodium ou hypochlorite de calcium). En présence de chlore (sous forme HClO), les bromures présents dans l'eau de mer sont rapidement oxydés en acide hypobromeux (HBrO) qui, dans ce cas, est la forme désinfectante du brome :



(Westerhoff *et al.*, 2004)

La concentration en ions bromure reste cependant stable car le brome formé par l'action du chlore se retrouve à l'état de bromures lorsqu'il est réduit. Le chlore est quant à lui totalement consommé et c'est le brome qui est l'agent désinfectant et doit être mesuré dans les eaux. Pour une désinfection optimale, la concentration en brome doit être comprise en permanence entre 1 et 2 mg.L<sup>-1</sup> avec un pH compris entre 8,0 et 8,2.

### *Cas particulier du traitement des eaux minérales naturelles*

Les eaux minérales naturelles peuvent contenir des éléments minéraux qui vont interférer avec les traitements de l'eau habituellement mis en œuvre pour les bains à remous.

Les eaux bicarbonatées sodiques ou calciques peuvent poser des problèmes en termes d'exploitation de par leur caractère entartrant accentué quand la température de l'eau augmente.

Le fer et le manganèse constituent également une problématique en termes d'exploitation. Une deferrisation et une démanganisation sont nécessaires en cas d'excès de fer et/ou de manganèse préalablement à la désinfection. En effet leur oxydation conduit à une précipitation du fer (couleur rougeâtre) et du manganèse (couleur noirâtre) et également à une demande en chlore élevée ainsi qu'à une baisse de l'efficacité de désinfectant.

La chloration des eaux sulfurées provoque une augmentation de la turbidité de l'eau, une modification de sa couleur allant du jaune orangé au marron (Senta *et al.*, 1996) et un développement de mauvaises odeurs. Elle conduit également à l'apparition dans le bassin d'un floculat blanchâtre correspondant à la présence de soufre colloïdal. La demande en chlore est donc importante dans les eaux sulfurées et dépend fortement du pH. A pH 6,4, le chlore oxyde totalement le sulfure d'hydrogène en sulfates, alors qu'à pH 7 seulement 70 % de H<sub>2</sub>S est oxydé (Senta *et al.*, 1996). Par contre, l'aération de l'eau des bains à remous va favoriser le dégazage du sulfure d'hydrogène et par delà réduire la formation de soufre colloïdal (Senta *et al.*, 1996).

### **3.3.3 Traitement de l'air**

L'aération de l'eau aggrave également la volatilisation des sous-produits de désinfection, ce qui dégrade la qualité de l'air. Le brassage important de l'eau dans un bain à remous augmente le degré hygrométrique de l'air ambiant. Or une atmosphère trop humide dans un établissement aquatique entraîne une diminution du confort des baigneurs (respiration plus difficile, transpiration, *etc.*) et génère des dégradations au niveau de la structure du bâtiment (corrosion, condensation, moisissures, *etc.*).

Afin de garantir le confort des usagers et du personnel une ventilation avec un recyclage et un traitement de l'air par une centrale de traitement d'air (CTA) doit donc être mise en œuvre. Cette ventilation vise à maintenir une humidité relative satisfaisante.

Trois systèmes de ventilation peuvent être utilisés :

- **la déshumidification par renouvellement d'air** consiste à introduire de l'air extérieur sec qui se charge en eau, éliminant ainsi l'excès de vapeur d'eau. Le débit d'air neuf est régulé en fonction de l'hygrométrie intérieure.



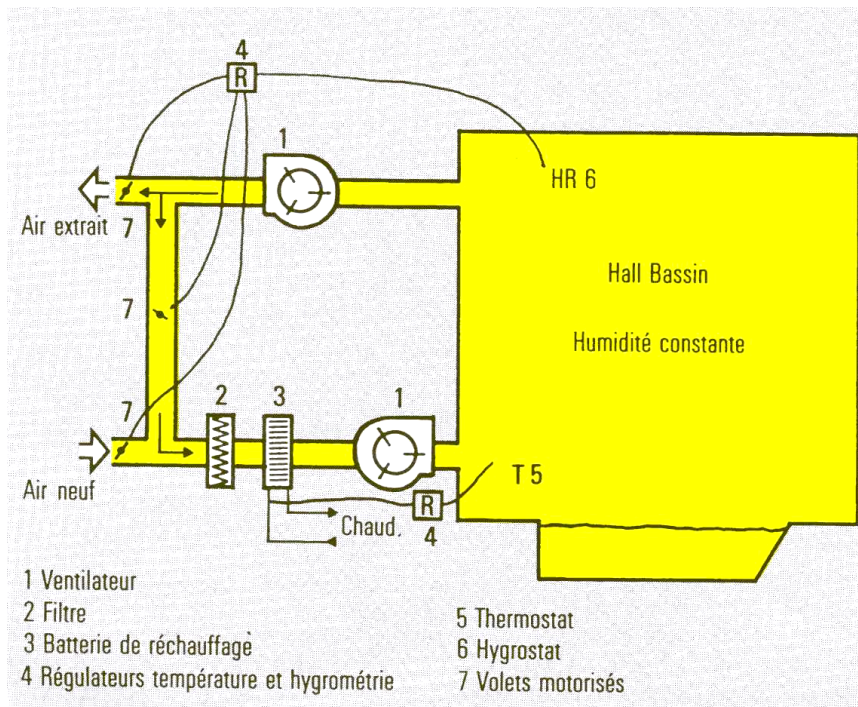


Figure 9 : Dispositif de modulation de l'air neuf.

(Source, Cahier technique de bâtiment, 1987)

Ce système de régulation conduit systématiquement à des débits d'air supérieurs aux prescriptions du RSD.

- la **déshumidification par pompe à chaleur (PAC)** consiste à déshumidifier l'air du bain à remous par condensation et non plus par introduction d'air neuf. L'air passe successivement à travers l'échangeur froid (évaporateur) puis l'échangeur chaud (condenseur) d'une pompe à chaleur. La majeure partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense sur la partie froide en cédant sa chaleur latente<sup>10</sup> qui est récupérée sur la partie chaude. Il s'agit en fait, d'un transfert de calories qui permet de transformer un air chaud et humide en air plus chaud et sec.

<sup>10</sup> chaleur latente : c'est la quantité d'énergie absorbée ou cédée lors d'un changement d'état

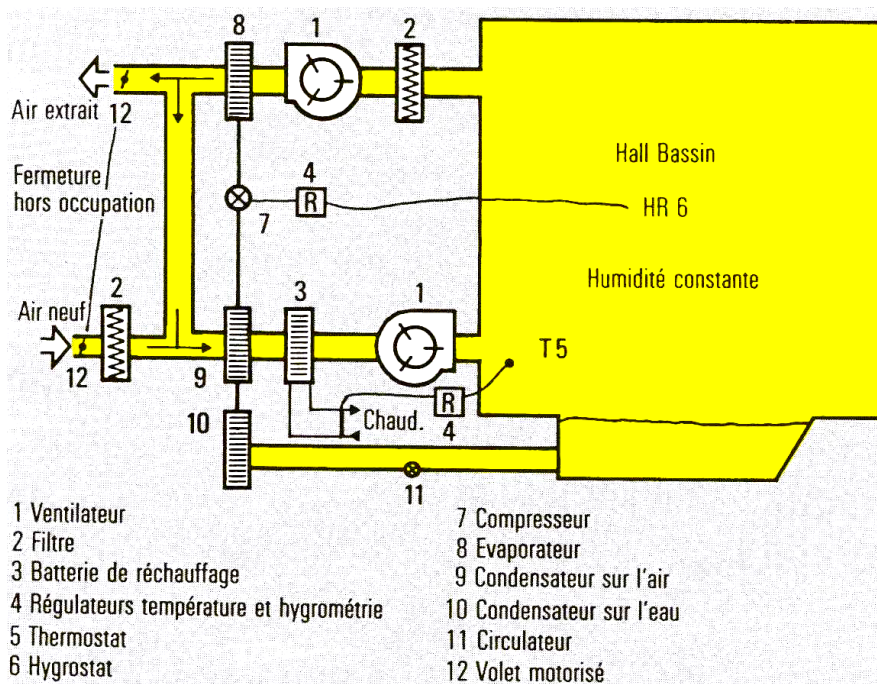


Figure 10 : Exemple de déshumidification par pompe à chaleur.

(Source, cahiers techniques du bâtiment, 1987)

Ce système peut conduire à de nombreuses difficultés, dont une mauvaise qualité de l'air intérieur : odeurs, irritation des muqueuses, allergies, malaises pour le personnel de piscine dans quelques cas extrêmes. Ces phénomènes sont particulièrement observés lorsque l'introduction d'air neuf est réduite au minimum.

#### -la déshumidification par absorption de l'air humide sur des matériaux dessicants

Les matériaux dessicants attirent l'eau en formant à leur surface une zone à faible pression de vapeur. La vapeur présente dans l'air, ayant une pression plus élevée, se déplace de l'air vers la surface du matériau et l'air est déshumidifié. Actuellement les sorbants les plus utilisés sont le gel de silice ( $\text{SiO}_2$ ), le chlorure de lithium ( $\text{LiCl}$ ), l'alumine activée ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et le bromure de lithium ( $\text{LiBr}$ ). Ces substances sont déposées sur un support à structure en nids d'abeilles (figure 11). Lorsque la substance devient saturée, il faut la chauffer pour qu'elle libère l'eau (Vitte *et al.*, 2008). Une fois l'eau désorbée, le matériau est refroidi par le flux d'air du process avant de pouvoir à nouveau capter l'humidité.

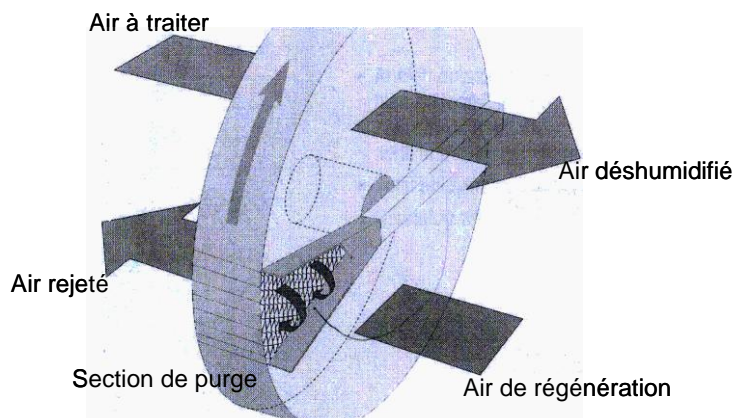


Figure 11 : Schéma d'une roue à dessiccation.

(Source Vitte, 2008)

### 3.3.4 Traitement des surfaces

La position assise des baigneurs dans les bains à remous et le contact permanent entre la peau des usagers et les parois de ces bains implique la nécessité d'un nettoyage régulier et soigneux de ces surfaces à chaque vidange. Des précautions particulières doivent être également prises pour le nettoyage des surfaces dans l'environnement des bains à remous.

A cet effet les protocoles et les mesures proposées dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) pour le nettoyage des surfaces sont appropriés.

Néanmoins, dans le cas présent, le nettoyage doit être élargi à l'ensemble des circuits hydrauliques et aérauliques alimentant les bains à remous. Ainsi, l'OMS recommande de nettoyer les parois et la tuyauterie des bains à remous chaque semaine afin d'éviter le développement de biofilms qui peuvent abriter des bactéries pathogènes (OMS, 2006).

En pratique, l'efficacité du nettoyage des bains à remous se heurte généralement à un manque d'accès à certaines zones, par exemple la tuyauterie.

## 3.4 Points à retenir

Bien que l'eau des bains à remous soit traitée actuellement de façon similaire à celles des piscines réglementées, il est plus difficile d'y maintenir une eau et une atmosphère de bonne qualité. Les bains à remous présentent les particularités suivantes :

- ▶ la température élevée de l'eau entraîne une évaporation importante créant une surconcentration en matières dissoutes dans l'eau et favorisant l'humidification de l'air ;
- ▶ l'agitation de l'eau et sa recirculation importante modifient l'équilibre chimique de l'eau, et accélèrent les vitesses des réactions chimiques. (Benoit *et al.*, 1987). De plus, ces paramètres rendent difficile le maintien de la concentration en désinfectant et de la valeur du pH (Roccaro *et al.*, 2008).
- ▶ la forte fréquentation au regard du volume du bassin apporte une charge organique importante ;
- ▶ Une humidification de l'air, difficile à contrôler ;
- ▶ une difficulté dans le maintien d'une concentration en résiduel de désinfectant stable ;

- ▶ un entartrage du circuit hydraulique ;
- ▶ une stagnation de l'eau dans les canalisations d'injection d'air lors de l'arrêt du bullage ;
- ▶ une formation de biofilm favorisée dans les canalisations d'injection d'air et d'eau (Goeres *et al.*, 2007).

Pour maintenir une bonne qualité de l'eau des bains à remous et maintenir une concentration en désinfectant stable et suffisante, certaines mesures sont préconisées :

- ▶ l'installation d'un bac tampon, soit spécifique au bain à remous soit commun à un autre bassin. Les circuits hydrauliques des bains à remous sans bac tampon sont donc à proscrire. Le bac tampon doit être d'accès aisé, largement dimensionné ;
- ▶ la régulation automatisée de la concentration en chlore et du pH;
- ▶ une cadence de recyclage élevée (10 à 15 min);
- ▶ une vidange quotidienne accompagnée d'un nettoyage complet et une désinfection des parois et du fond du bain à remous;
- ▶ une désinfection complète des circuits hydrauliques et aérauliques, avec recirculation de l'eau (et en l'absence de bullages), avec rejet des eaux de vidange dans le réseau d'eau pluviale après neutralisation du désinfectant ;
- ▶ l'installation de clapets anti-retour sur les canalisations d'insufflation d'air afin d'éviter la stagnation de l'eau dans le réseau ainsi qu'un retour d'eau dans le réseau public.

Concernant la filtration, la réglementation actuelle ne fixe aucune vitesse limite de filtration pour les eaux alimentant les bains à remous. De plus, compte tenu du grand nombre de médias filtrants actuellement mis sur le marché il n'est pas possible de proposer des règles de dimensionnement et des valeurs limites pour les vitesses de filtration afférente à chacun de ces médias filtrants. Cependant, les nouveaux médias filtrants devraient faire l'objet d'une procédure d'autorisation préalable à leur utilisation dans les bains à remous.

L'obligation de résultats au travers d'indicateurs d'efficacité telle que la turbidité pourrait être une solution permettant de pallier cette difficulté.

Pour améliorer la qualité de l'air,

- ▶ un traitement de déshumidification performant et un apport d'air neuf conséquent sont nécessaires ;
- ▶ l'installation d'un système de strippage au niveau du bac tampon est à favoriser. Le rejet de l'air doit être éloigné de la prise d'air neuf ;
- ▶ un nettoyage régulier et un contrôle annuel des CTA doivent être réalisés.

Pour améliorer la qualité des surfaces, des protocoles de nettoyage adaptés des parois du bassin des plages et du circuit doivent être mis en oeuvre.

## 4 Identification des dangers

Au-delà des risques physiques (noyades, chutes et glissades qui sont hors champ de cette saisine), les dangers auxquels peuvent être exposés les usagers des bains à remous et le personnel sont d'ordre chimique et microbiologique.

Les dangers peuvent avoir pour origine :

- ▶ l'état du réseau intérieur de l'établissement ;
- ▶ les traitements mis en œuvre et leurs suivis au sein des établissements ;
- ▶ les apports de composés organiques et minéraux ou de charge microbiologique apportés par les usagers eux-mêmes.

La majorité de ces dangers a été exposée dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a). Toutefois, les bains à remous présentent certaines particularités qui peuvent modifier la hiérarchie des dangers décrits et/ou être à l'origine de dangers pertinents supplémentaires. Pour mémoire, ces spécificités portent sur :

- ▶ la température de l'eau élevée ;
- ▶ la présence de dispositifs de bullage ;
- ▶ le faible volume d'eau rapporté au nombre de baigneurs fréquentant ces bassins ;
- ▶ un taux de renouvellement d'eau faible rapporté au taux de fréquentation de ces bains ;
- ▶ la concentration en désinfectant fluctuante ;
- ▶ l'augmentation du pH ;
- ▶ la promiscuité inter-baigneurs.

Ce chapitre rappellera donc de façon synthétique les dangers physico-chimiques et microbiologiques présentés en détail dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) et insistera sur ceux liés spécifiques aux bains à remous.

Les nouvelles données relatives aux dangers physico-chimiques et microbiologiques liés aux eaux de piscine publiées depuis l'édition du rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) et d'intérêt pour les bains à remous seront insérées.

### 4.1 Description des particularités des bains à remous à l'origine de dangers chimiques et microbiologiques spécifiques

#### 4.1.1 La température

La température peut être considérée comme un danger direct puisque l'OMS rapporte des cas de décès suite à la fréquentation de bain à remous dont la température de l'eau était de 43 °C. Les mêmes observations ont été rapportées dans le cas de bains froids (8-10 °C) (OMS, 2006).

De manière indirecte, la température de l'eau est un facteur de danger. Par exemple quand elle augmente, les vitesses des réactions entre les produits de désinfection et la matière organique apportée par les baigneurs sont plus élevées. Le maintien en résiduel de désinfectant permettant de maintenir une désinfection efficace nécessite des ajouts réguliers de désinfectant, ce qui augmente la formation de sous-produits de désinfection. Dans le cas de l'utilisation de produits chlorés, l'augmentation de la température accélère la décomposition des acides chloroacétiques

en trichloramine et favorise la volatilisation des sous-produits de désinfection volatils ou semi-volatils comme les trihalométhanes (Rodriguez *et al.*, 2000 ; Brunet *et al.*, 2010).

La température agit également sur la croissance des micro-organismes. En effet, chaque micro-organisme a un domaine de température optimal de croissance et de développement. Les conditions de température des bains à remous favorisent le développement de nombreuses bactéries telles que *Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E. Coli* et *Staphylococcus aureus*. Il en est de même pour les champignons.

#### 4.1.1.1 Bassins d'eau froide

L'analyse de la base SISE-Eaux a montré qu'en 2009 quatre établissements, dont la température du bain à remous était inférieure à 25 °C, ont été suivis dans le cadre du contrôle sanitaire. Ce sont des bassins extérieurs alimentés par de l'EDCH dont l'ouverture est saisonnière.

Plusieurs études ont montré les bénéfices de l'immersion dans un bain froid sur la récupération (Buccheit *et al.*, 2011 ; Stanley *et al.*, 2011 ; Vaile *et al.*, 2008). Les bains froids favoriseraient également la fortification du cœur et une stimulation du métabolisme.

Cependant, les études de Keatinge (1969) et Tipton (1989) ont montré que la baignade en eau froide accélère le refroidissement du corps et de la peau. Il apparaît qu'en dessous de 24 °C, le corps se refroidit 25 fois plus vite que dans l'air du fait de la meilleure conduction de l'eau par rapport à l'air. Le corps tente de préserver sa température centrale par une succession de réactions. Une vasoconstriction périphérique conduisant à un afflux de sang vers le cœur est observée. Ce phénomène est immédiatement régulé par une élimination de liquide par les reins (envie d'uriner) ce qui peut être la cause d'une déshydratation du baigneur. Des frissons peuvent également apparaître, puis des crampes, une vasoconstriction cutanée et une hyperventilation qui peut aggraver le refroidissement.

Les recherches bibliographiques n'ont pas mis en évidence d'étude sur les effets sur la santé menée spécifiquement dans des bains à remous dont la température de l'eau est inférieure à 25°C.

#### 4.1.1.2 Bassins d'eau chaude

Plusieurs études ont mis en évidence le développement chez le baigneur de complications respiratoires, de problèmes cardiaques voire de manifestations neurologiques suite à la baignade en eau chaude (Corbett *et al.*, 1995 ; Luurila, 1980 ; Erbel, 1991).

La baignade en eau chaude conduirait également à des malformations du fœtus -notamment l'absence de fermeture du tube neural- ou des avortements spontanés (Sandford *et al.*, 1992 ; Sasaki *et al.*, 1995 ; CPSC, 1979). Cette constatation repose sur des études à la fois *in vivo* chez l'animal et des études cliniques. Chez différentes espèces de rongeurs, il a été montré qu'une augmentation de plus de 2 °C de la température centrale avait un effet tératogène. Il est aussi à noter que l'hyperthermie persiste chez l'animal quelques temps après l'exposition à une atmosphère chaude, si bien qu'une exposition répétée de façon rapprochée est aussi à prendre en compte (Germain *et al.*, 1985 ; Chambers, 2005). L'immersion en eau chaude prolongée (60 minutes) dans une eau dont la température est proche de 40-42°C peut entraîner la mort de certains animaux (Eshel *et al.*, 1998).

Concernant spécifiquement les bains à remous, la commission pour la santé des consommateurs (CPSC) a signalé que la baignade dans ces bassins pouvait conduire à des somnolences à l'origine de noyades, des « coups de chaleur » ainsi qu'à une réduction de la régulation de la température corporelle (CPSC, 2004).

Li *et al.* (2003) ont retrouvé une relation entre utilisation de bains à remous par les femmes enceintes et l'avortement spontané au sein d'une cohorte de 1063 patientes. Le risque d'avortement s'accroît avec l'augmentation de la fréquence d'utilisation de ces bains et la précocité de cet usage (dans les 4 premières semaines suivant la date des dernières règles).

Duong *et al.* (2011) ont réalisé une étude cas-témoins multicentrique aux Etats-Unis de 1997 à 2005 chez 17 618 femmes enceintes afin d'étudier l'effet éventuel de la fréquentation d'un bain à remous lors du début de grossesse sur la survenue d'avortement ou de malformation non cardiaque à la naissance. Les femmes ayant fréquenté un bain à remous durant le premier trimestre de grossesse présentent, selon cette étude, un risque significativement plus élevé de mettre au monde un bébé atteint de malformation de la paroi intestinale et de non fermeture du tube neural.

Ces mêmes observations avaient déjà été mises en évidence par l'étude de Milunsky *et al.* (1992) durant laquelle 23 491 grossesses avaient été suivies. Les femmes ayant fréquenté un bain à remous lors des 2 premiers mois de grossesse avaient un risque 3 fois plus élevé de survenue de non fermeture du tube neural par rapport au reste des grossesses suivies.

#### 4.1.2 Les aérosols<sup>11</sup>

Lorsque le bain à remous est en fonctionnement, des bulles se créent dans le bassin sous l'action des jets d'air comprimés. Ces bulles remontent à la surface de l'eau et éclatent en gouttelettes, dénommées « film drop » et « jet drop », qui seront mises en suspension dans l'atmosphère du bain à remous (figure 12) (Kolmogorov, 1949).

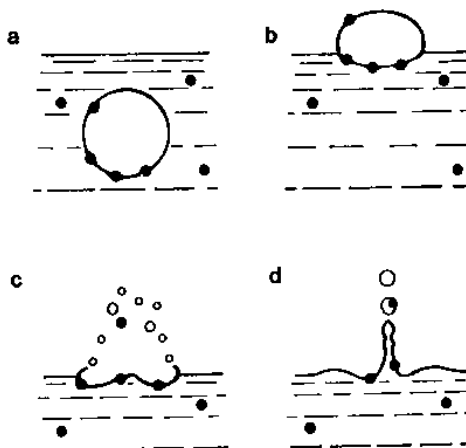


Figure 12 : Formation et enrichissement en bactéries de la bulle (a et b) lors de son trajet dans l'eau et lors de sa dégradation en « film drop » (c) et en « jet drop » (d).

(Baron et Willeke, 1986)

Une fois en suspension, les micro-gouttelettes peuvent :

- ▶ sédimenter ;
- ▶ s'évaporer ;
- ▶ grossir par condensation de vapeur d'eau.

<sup>11</sup> Un aérosol est une suspension dans un milieu gazeux de particules solides ou liquides présentant une vitesse de chute négligeable. La vitesse de chute est calculée à l'équilibre. Un aérosol est défini comme une particule d'un diamètre < 100 µm et de vitesse de chute < 25 cm/s (AFNOR X44, 001 de juin 1971)

Ces phénomènes relèvent de l'équilibre thermodynamique entre phases, solide, liquide et gazeuse. Ils dépendent également de la taille des micro-gouttelettes, de leur composition et du taux d'humidité de l'air présent dans l'atmosphère proche du bassin.

Plusieurs études ont montré, que lors de leur trajet à travers l'eau, les bulles formées sous l'action des jets d'air collectent à leur surface des micro-organismes et des composés chimiques (Figure 12) (Blanchard et Syzdek, 1981 ; Baron et Willeke, 1986 ; Lewis et Schwartz, 2004). Dans le cas des bains à remous, les bulles pourront alors se charger :

- ▶ en sels dans le cas des particules solides, notamment dans le cas de l'eau de mer et de l'eau minérale naturelle ;
- ▶ en matières organiques (composés azotés apportés par les baigneurs, produits cosmétiques présents à la surface de l'eau) ;
- ▶ en micro-organismes et/ou en structures non viables telles les endotoxines ou mycotoxines ;
- ▶ et en sous-produits de désinfection notamment les SPD semi-volatils et non volatils.

L'évaporation des micro-gouttelettes en suspension conduit à la formation de particules sèches ou « résidus secs » constituées des différents composants présents dans la goutte initiale comme l'illustre la Figure 13. La vitesse d'évaporation des micro-gouttelettes est ralentie en présence de sels et de matière organique (Xi *et al.* 2009, Marthi *et al.* 1990) et lorsque le taux d'humidité des bains à remous est proche de la saturation.

Si la composition chimique des micro-gouttelettes et résidu sec dans le cadre des bains à remous est méconnue, il existe quelques études relatives à la présence de certains micro-organismes dans les aérosols formés dans des bains à remous (Blanchard et Syzdek, 1982 ; Baron et Willeke, 1986 ; Price et Ahearn, 1988). Baron et Willeke (1986) ont montré la présence de légionelles dans les gouttelettes et Price et Ahearn (1988) ont mis en évidence la présence de *P. aeruginosa* dans les aérosols de bains à remous privés et publics. La présence de matières organiques dans les gouttelettes semble augmenter la survie de certaines bactéries comme *Pseudomonas syringae* (Marthi *et al.*, 1990).

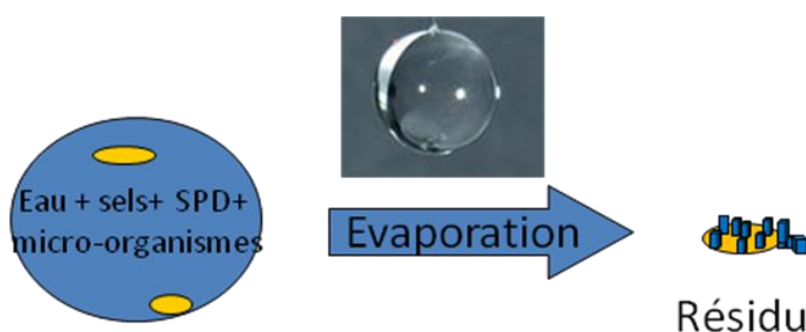


Figure 13 : Evaporation d'une microgouttelette d'eau.

Les mouvements d'air vont ensuite disperser les résidus secs, les transportant plus ou moins loin en fonction de leur taille. La taille des particules détermine leur temps de séjour dans l'air ainsi que leur aptitude à pénétrer et demeurer plus ou moins profondément dans l'appareil respiratoire. La taille des résidus secs peut être très éloignée de la taille des gouttes mises en suspension, créant ainsi de fines particules susceptibles d'atteindre plus facilement le système pulmonaire des baigneurs. La plupart des particules va être immobilisée dans les voies aériennes supérieures. Seules les plus petites vont atteindre les voies respiratoires profondes.



Pour qu'un aérosol atteigne l'arbre trachéobronchique, les gouttelettes doivent mesurer moins de 6 µm (2 à 6 µm pour les bronches, 0,5 à 3 µm pour les bronchioles et alvéoles) comme le montre la figure suivante.

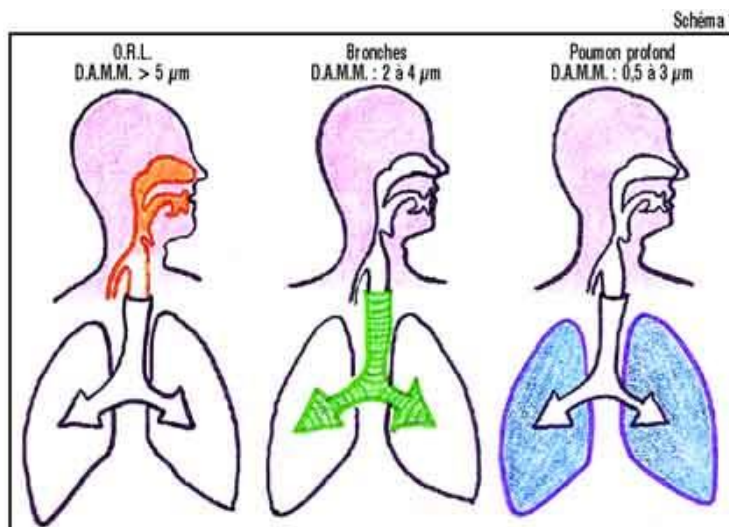


Figure 14 : Arbre trachéobronchique.

(site [http://pneumocourlancy.fr/page\\_aerosoltherapie.html](http://pneumocourlancy.fr/page_aerosoltherapie.html) visité le 26 janvier 2012)

Deux études ont montré que la taille des particules formées lors de l'agitation de l'eau d'un bain à remous alimentés par de l'EDCH variaient de 1 à 8 µm (Baron et Willeke, 1986 ; Mangione *et al.*, 1985). Les particules d'un aérosol formé à partir d'eau saline (eau de mer, EMN) semblent être plus grosses (Guichard, 1985).

L'exposition aux micro-gouttelettes et résidus secs dans le cadre des bains à remous se fait selon deux modes différents : l'exposition des baigneurs et l'exposition des personnes (baigneurs et personnels) proches du bassin. Les baigneurs présents dans le bassin se situent extrêmement près de la source d'émission des particules. Ils vont donc pouvoir inhaler en forte quantité à la fois des résidus secs mais également des gouttelettes non évaporées.

Les personnes situées à proximité du bassin sont plus éloignées de la source d'émission et seront exposées principalement aux résidus secs en mouvement dans l'air et aux particules n'ayant pas encore sédimentées.

L'exposition des baigneurs et des personnes éloignées va dépendre du taux d'émission de la source de particules, de la taille de ces dernières mais également de l'aérodynamique au dessus du bassin et de la composition des gouttes et résidus secs. Le mode ventilatoire du baigneur joue également un rôle dans l'inhalation des aérosols. En effet, un débit inspiratoire élevé ou une obstruction bronchique favorise le dépôt proximal des grosses particules alors qu'une inspiration lente et profonde favorise le dépôt distal des particules de tailles moyenne et petite. Un volume courant important et une apnée en fin d'inspiration sont également favorables au dépôt des particules fines.

Le risque lié à l'inhalation d'aérosol semble plus élevé pour le baigneur que pour les personnes à proximité. En effet, Baron et Willeke (1986) ont montré que la quantité d'aérosol au dessus d'un bain à remous est plus importante juste au dessus de la surface de l'eau (13 cm) qu'à 35 cm de hauteur.

Baron et Willeke (1986) ont également montré que la quantité d'aérosols formés dans un bain à remous dépend de la puissance du bullage et de la température de l'eau. Plus l'agitation de l'eau est importante, plus la taille et la concentration des gouttelettes augmentent.

Par ailleurs, plus la température de l'air augmente, plus la concentration des gouttelettes augmente. Plus l'air au-dessus de la surface de l'eau est brassé, plus le nombre de particules de

taille supérieure à 10 µm augmente dans la zone d'inhalation des baigneurs (Baron et Willeke, 1986).

L'exposition aux aérosols et en particulier aux bioaérosols est associée à différents types de pathologies : réaction de type allergique (rhinite, asthme, pneumopathie d'hypersensibilité, *etc.*), fièvres d'inhalation (fièvre de Pontiac, fièvre des humidificateurs, *etc.*), maladies infectieuses (légionellose, maladies virales respiratoires, *etc.*) (Douwes *et al.*, 2003).

### 4.1.3 Les biofilms

Dans les environnements hydriques naturels, les micro-organismes peuvent adhérer aux supports inertes pour former une structure complexe appelée biofilm (Costerton *et al.*, 1987). Le biofilm se définit par un « ensemble de micro-organismes et de microcolonies de cellules filles associés entre eux et/ou aux surfaces et interfaces, et inclus dans une matrice constituée d'exopolymères bactériens, de matière organique et non organique, ainsi que de macromolécules piégées du milieu environnant » (Groupe eau-santé, 2005).

La formation d'un biofilm va faciliter les échanges intercellulaires ainsi qu'établir et maintenir un micro-environnement propice à la survie microbienne. De plus, un micro-organisme adhérant va subir des modifications phénotypiques par rapport à son homologue planctonique, lui conférant un comportement, des caractéristiques métaboliques et des propriétés qui lui sont propres (Szewzyk *et al.*, 2000).

Ces structures présentent une grande diversité de communautés microbiennes et de larges différences dans la composition chimique de la matrice et dans son épaisseur. Leur constitution dépend des apports en micro-organismes et de leur capacité de survie, des caractéristiques physico-chimiques de l'eau, des traitements appliqués et des conditions hydrauliques (Squinazi, 2006).

Les biomasses fixées montrent une résistance accrue aux produits de désinfection. Cette résistance s'explique, d'une part, par la nature de la matrice du biofilm (consommation du biocide en raison du pouvoir réducteur de la matrice et de la présence de matière organique, pénétration limitée du chlore jusqu'aux couches basales du biofilm) et, d'autre part, par l'induction de phénomènes de résistance à la désinfection chez les micro-organismes (Paquin *et al.*, 1992 ; De Beer *et al.*, 1994 ; Cooper et Hanlon, 2010 ; Vess *et al.*, 1993). Les densités microbiennes sur les matériaux utilisés pour la distribution de l'EDCH peuvent atteindre jusqu'à 100 millions d'unités formant colonie (UFC) par centimètre carré (cm<sup>2</sup>), même en présence d'un résiduel de chlore (Le Chevallier *et al.*, 1987).

Plusieurs facteurs sont susceptibles de favoriser l'implantation des biofilms : le régime hydraulique (stagnation de l'eau, espaces morts, *etc.*), la température et la composition physico-chimique de l'eau (matières organiques, fer, phosphore, *etc.*), l'absence d'un agent biocide circulant et la nature du matériau au contact de l'eau (Torvinen *et al.*, 2007 ; Moritz *et al.*, 2010). D'autres éléments participent à cette aptitude à promouvoir la prolifération microbienne : l'état de surface et le vieillissement du matériau, la présence de produits de corrosion ou de tartre, les procédures de traitement appliquées (Yu *et al.*, 2010).

La conception et les conditions d'utilisation des bains à remous favorisent la formation de ces biomasses sur les parois et le fond des bassins et sur toutes les composantes de l'installation (filtres et canalisations). En effet, tout d'abord, la température de l'eau est propice au développement microbien, car, généralement, supérieure à 30 °C. Ensuite, les teneurs en désinfectant sont souvent fluctuantes et ne permettent pas donc pas une élimination efficace des micro-organismes présents. Le revêtement intérieur se modifie avec l'âge : la présence d'anfractuosités ou de dépôts de nature diverse favorisent l'apparition des biofilms. Enfin, les équipements sont contaminés périodiquement par des matières organiques et par des micro-organismes amenés par les baigneurs, ce qui participe à la formation de ces biomasses fixées.

Goeres *et al.* (2004, 2007) ont mis au point deux pilotes mimant respectivement les conditions rencontrées dans un bassin classique et dans un bain à remous. Ils ont montré que le biofilm est capable de s'installer sur les filtres et les divers matériaux testés, ceci même en présence de 1 à 3 mg.L<sup>-1</sup> en chlore libre. Toutefois, la présence de chlore en continu permet une réduction de la densité des biomasses fixées d'environ 4 réductions décimales (log).

L'activité des micro-organismes présents dans les biofilms est mal appréciée du fait des limitations des techniques actuellement mises en oeuvre. Les dangers sanitaires relatifs à ces biomasses fixées sont corrélés à une libération des germes dans l'eau circulante (Van der Wende *et al.*, 1989). Ce détachement correspond soit à une simple érosion (libération de cellules uniques ou de petits amas cellulaires), soit à un arrachage du biofilm (libération de larges agrégats microbiens) (Stoodley *et al.*, 2001).

#### 4.1.4 Points à retenir

Concernant l'eau chaude, peu de données relatives au risque d'utilisation de bains à remous en début de grossesse sont disponibles actuellement. Si l'on prend en compte les études chez l'animal et le lien existant entre hyperthermie dans les deux premiers mois de grossesse et la non-fermeture du tube neural, il est possible que la fréquentation de ces bains à remous en début de grossesse augmente le risque de malformation.

L'OMS recommande que les femmes enceintes, les personnes malades et les jeunes enfants ne se baignent pas dans des bassins dont la température est extrême (chaude ou froide). La pratique de bains de longues durées à de telles températures, quelle que soit la population n'est pas recommandée ou sous certaines conditions (OMS, 2006).

Concernant les aérosols, leur pénétration dans l'organisme des baigneurs ou du personnel par inhalation peut engendrer des pathologies respiratoires et pulmonaires, dont la fièvre de Pontiac est la plus documentée. La présence de sous-produits de désinfection (SPD) semi-volatils et/ou non volatils dans les gouttes ne peut être exclue et, de ce fait, présente un risque potentiel supplémentaire pour les baigneurs et le personnel. Il n'existe cependant pas de mesures d'exposition dans le cadre de la fréquentation des bains à remous. Des campagnes de mesures pour connaître la taille des particules émises, leur composition et leur dispersion dans l'atmosphère des bains à remous sont donc nécessaires afin de pouvoir évaluer le risque pour les baigneurs et les personnes à proximité.

Des études sur le rôle des particules les plus fines sont également à mener car ce sont ces particules qui seront le plus facilement inhalées et qui pourront pénétrer dans l'arbre trachéobronchique.

Enfin, des études sur les interactions entre la phase gazeuse et les aérosols devraient être entreprises notamment pour mieux identifier la composition des microgouttelettes et des résidus secs.

## 4.2 Description des dangers liés à la fréquentation des bains à remous alimentés par de l'EDCH

### 4.2.1 Dangers liés aux sous-produits de désinfection

Le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) décrit les principaux SPD résultant de la réaction entre les produits de désinfection (chlore, ozone) et les composés naturellement présents dans l'eau d'alimentation (bromures, matière organique naturelle) ou ceux apportés par les usagers (sueur, urée, cellules de desquamation, produits cosmétiques, *etc.*).

Ils appartiennent aux familles des haloamines (chloramines et bromamines), aux trihalométhanes (THM), aux acides haloacétiques (AHA), aux haloacétonitriles (HAN), aux nitrosamines (NA) et aux

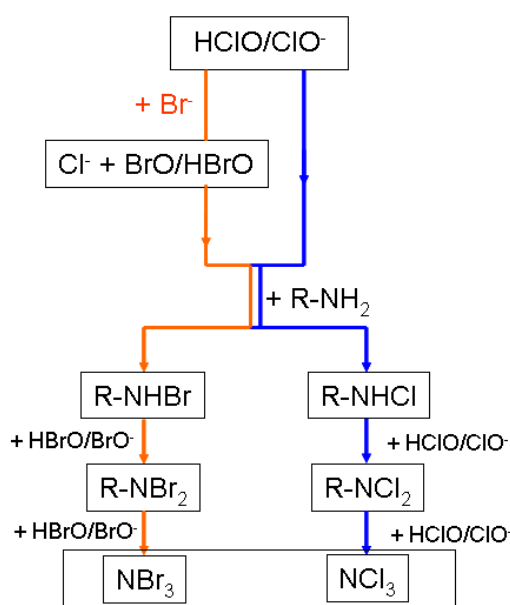
haloaldéhydes (hydrate de chloral) (Li et Blatchley, 2007 ; Walse et Mitch, 2008 ; Richardson *et al.*, 2010). Ces sous-produits peuvent également se retrouver dans l'eau et/ou l'air des bains à remous. Toutefois, du fait des températures plus élevées de l'eau lors de cette activité et du faible volume de ces bassins, la distribution de ces composés peut être modifiée aussi bien dans l'eau que dans l'air (cinétique de formation accélérée, volatilisation accrue).

#### 4.2.1.1 Sous-produits de chloration

##### *Chloramines minérales et organiques*

Les chloramines résultent de la réaction entre des molécules azotées organiques ou minérales (ions ammonium, acides aminés, urée, créatine, *etc.*) et l'acide hypochloreux (HClO).

Les chloramines minérales constituent un mélange de substances formées selon une réaction en chaîne décrite ci-dessous (Figure 15). La monochloramine (R-NHCl) et la dichloramine (R-NHCl<sub>2</sub>) sont solubles et instables dans l'eau. Ces composés réagissent rapidement avec le chlore pour former la trichloramine (NCl<sub>3</sub>), très volatile.



**Figure 15 : Mécanisme de formation des chloramines et des bromamines.**

Le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) a décrit la toxicité liée aux chloramines, et plus particulièrement celle liée à la trichloramine. Pour mémoire, la trichloramine est considérée comme la principale substance responsable des troubles irritatifs rapportés par le personnel des piscines. L'exposition à cette molécule est reconnue comme maladie professionnelle au tableau 66 de la sécurité sociale et, l'Agence, dans son rapport relatif aux piscines réglementées a préconisé un suivi régulier de la trichloramine dans l'air avec une limite de 0,3 mg.m<sup>-3</sup>.

Des études (Hery *et al.*, 1995 ; Parrat, 2008 ; Schmoll *et al.*, 2009) ont montré que la concentration en trichloramine dans l'enceinte d'un établissement aquatique augmente lorsque le bain à remous est en fonctionnement. La concentration passe de 0,3 mg.m<sup>-3</sup> à plus de 1,0 mg.m<sup>-3</sup> dans l'étude française. En effet la température élevée de l'eau ainsi que le brassage de cette dernière favorise le dégazage de la trichloramine (Hery *et al.*, 1995 ; Lawrence, 1990).

Parmi les chloramines organiques, seule la dichlorométhylamine (DCMA) a été détectée dans des piscines réglementées et des bains à remous (Weaver *et al.*, 2009), par spectrométrie de masse avec introduction membranaire (MIMS). Cette étude, menée dans 11 établissements équipés de bains à remous (31 analyses) durant 6 mois, a montré que les teneurs en ces deux composés étaient systématiquement plus élevées dans les bains à remous que dans les bassins traditionnels, avec des teneurs variant de la limite de détection de  $1,6 \mu\text{g.L}^{-1}$  à  $50,48 \mu\text{g.L}^{-1}$ . La DCMA est une molécule volatile qui pourrait contribuer au même titre que les autres chloramines (organiques ou minérales) aux effets irritants de l'atmosphère des bains à remous (Cimetière et De Laat, 2009).

### *Trihalométhanes*

Les THM sont des composés de formule générale  $\text{CHX}_3$ , où X est un atome halogéné (chlore, brome, iode). Les quatre principaux THM nommés THM-4 sont le chloroforme ( $\text{CHCl}_3$ ), le bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ), le bromodichlorométhane ( $\text{CHBrCl}_2$ ) et le dibromochlorométhane ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ). Ces composés sont les plus recherchés dans l'eau et l'air des piscines réglementées en raison de leurs risques potentiels pour la santé (risque cancérigène) (Afsset, 2010a). D'autre part, les THM bromés sont considérés comme mutagènes (Santé Canada, 2010).

Bien qu'ils représentent 25 % des AOX<sup>12</sup> dans l'eau de boisson, les THM ne représentent plus que 6 % des AOX dans les bains à remous (Brunet *et al.*, 2010).

Comme dans les piscines réglementées, les THM retrouvés dans l'eau et l'air des bains à remous résultent principalement de la réaction entre le produit de désinfection utilisé et la matière organique azotée apportée par les baigneurs (Afsset, 2010 ; Richardson *et al.*, 2010 ; Lee *et al.*, 2010 ; Caro et Callego., 2007 ; Kanan et Karanfil, 2011 ; De Laat *et al.*, 2011). L'eau d'alimentation peut être également une source de THM car elle-même subit un traitement de désinfection, et des rechlorations le long du réseau de distribution peuvent conduire à une hausse des concentrations (Mouly *et al.*, 2010).

Compte tenu des spécificités des bains à remous (température élevée de l'eau, agitation de l'eau, pH instable) et des propriétés physico-chimiques intrinsèques des THM (solubles, volatiles), la concentration en THM dans l'air est potentiellement plus importante dans ces bassins que dans les piscines réglementées (Weaver *et al.*, 2009 ; Yang *et al.*, 2007). En effet, leur formation est liée :

- ▶ au pH : une augmentation du pH entraîne une augmentation de la production de THM, compte tenu d'un rapport  $\text{ClO}^-/\text{HClO}$  plus important (Hua et Reckow, 2008 ; Thacker et Nitnaware, 2003). L'aération de l'eau dans les bains à remous entraîne une diminution de la teneur en  $\text{CO}_2$  dissous qui conduit à une augmentation du pH. Ces pH élevés favoriseraient uniquement la formation des THM chlorés (Wang *et al.*, 2010) ;
- ▶ à la température (Chowdhury et Champagne, 2009 ; Kanan et Karanfil, 2011). Al-Omari *et al.* (2004) ont proposé une équation de type exponentielle permettant de modéliser l'influence de la température entre 15 et 40 °C sur la cinétique de formation des THM :

$$k = 0.0011 \exp(0.0407 T)$$

avec k = la constante de formation des THM en  $\text{min}^{-1}$  et T la température en °C ;

- ▶ au ratio chlore ajouté/matières organiques : la forte fréquentation des bains à remous conjuguée à la difficulté rencontrées par les gestionnaires à réguler la teneur en chlore dans les bains à remous augmente ce ratio de façon importante et favorise la formation des THM.

---

<sup>12</sup> AOX : Composés organohalogénés adsorbables sur charbon actif

Une étude canadienne menée sur 16 bains à remous désinfectés au chlore a montré que le chloroforme est le THM majoritaire avec une concentration dans l'eau variant entre 15  $\mu\text{g.L}^{-1}$  et 674  $\mu\text{g.L}^{-1}$  et, dans l'air, entre 4 et 399  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (Benoit et Jackson, 1987). Les autres THM n'ont pas pu être quantifiés car leur concentration était à des niveaux inférieurs à leur limite de quantification.

Une étude française menée sur des piscines ludiques et des bains à remous confirme cette répartition (tableau X).

**Tableau X : Comparaison des concentrations en THM dans l'eau et dans l'air des piscines ludiques et des bains à remous.**

	Nombres d'analyses	THM dans l'eau (en $\mu\text{g.L}^{-1}$ )							
		$\text{CHCl}_3$		$\text{CHCl}_2\text{Br}$		$\text{CHClBr}_2$		$\text{CHBr}_3$	
		Médiane	Gamme	Médiane	Gamme	Médiane	Gamme	Médiane	Gamme
Bains à remous	n = 15	6,8	0,6 à 14	1,25	0,6 à 2,4	1	0,5 à 1,5	0,7	0,5 à 0,9
Piscines ludiques	n = 17	7,15	3,1 à 23	1,4	0,7 à 2,9	0,85	0,5 à 1,10	8,65	3,8 à 27,2

	Nombres d'analyses	THM dans l'air (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ )							
		$\text{CHCl}_3$		$\text{CHCl}_2\text{Br}$		$\text{CHClBr}_2$		$\text{CHBr}_3$	
		Médiane	Gamme	Médiane	Gamme	Médiane	Gamme	Médiane	Gamme
Bains à remous	n = 15	105	4,4 à 253	8,65	n.d. à 42	4,95	n.d. à 7,9	n.d.	n.d.
Piscines ludiques	n = 17	62	29 à 181	8,2	2,6 à 29,5	3,3	2,20 à 12,50	4,4	n.d. à 4,4

nd : non déterminé

(Source Afsset, 2009b)

Les concentrations en THM dans l'eau ne sont pas sensiblement différentes entre les établissements équipés de bassins ludiques et ceux équipés de bains à remous. En revanche la différence devient significative dans l'air, principalement pour le chloroforme. Elle peut être attribuée à une volatilisation importante des THM, en particulier celle du chloroforme favorisée par le bullage et par les températures élevées de l'eau.

Les THM majoritairement retrouvés dans les établissements alimentés par de l'EDCH sont donc les THM chlorés ( $\text{CHCl}_3$  et  $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ). Toutefois, la présence d'ions bromure dans l'eau d'alimentation ou dans le désinfectant (eau de Javel de qualité insuffisante) peut privilégier la formation du bromoforme et des THM bromés au détriment du chloroforme et des THM chlorés (Weaver *et al.*, 2009 ; Uyak et Toroz, 2007 ; Heller-Grossman *et al.*, 1993 ; Allonier *et al.*, 2000). La présence d'iodures peut également conduire aux mêmes observations (Allard, 2008).

#### Acides haloacétiques

Les acides haloacétiques (AHA) sont des composés de formule générale  $\text{CHX}_2\text{COOH}$  ou  $\text{CX}_3\text{COOH}$ , où X est un atome halogéné (chlore, brome, iode). Les AHA sont non volatils, polaires et solubles dans l'eau.

Cette famille de composés est la plus représentée en termes de concentration dans l'eau des piscines chlorées. Ils constituent 25 à 30 % des AOX (Brunet *et al.*, 2010). Ces fortes concentrations s'expliquent en partie par leur accumulation dans les bassins (Kanan et Karanfil,

2011) en raison de leur stabilité, et du temps de séjour important de l'eau dans les bassins des piscines réglementées.

L'étude de Lee *et al.* (2010), menée sur 86 bassins de natation, montre que l'acide trichloroacétique (TCAA) est majoritairement retrouvé dans les eaux de piscines, quel que soit le désinfectant utilisé (chlore, ozone/chlore ou chlore généré électrochimiquement), suivi de l'acide dichloroacétique (DCAA).

Les concentrations en AHA sont également élevées dans l'eau des bains à remous mais la répartition est différente puisque, dans l'étude menée en France, le DCAA est le produit majoritaire (Afsset, 2009b).

Cette répartition peut s'expliquer par les valeurs de pH plus élevées dans ces bassins. En effet, une augmentation de pH, comme observée dans les bains à remous, diminue la formation des AHA. Seule la production de DCAA est indépendante du pH (Dalvi *et al.*, 2000).

Comme pour l'ensemble des sous-produits de désinfection, la température (dans une gamme 26 - 40 °C) augmente la cinétique d'apparition des AHA mais a néanmoins moins d'impact que sur celle de la formation des THM (Kanan et Karanfil, 2011). La production des AHA est plus fortement corrélée positivement à la présence de composés azotés (Lakind *et al.*, 2010 ; Richardson *et al.*, 2010) et à la concentration en chlore (Kanan et Karanfil, 2011).

Les AHA présentent des effets cancérigènes et reprotoxiques (Afsset, 2010a). Le risque de passage transcutané du DCAA et du TCAA a été montré par Kim et Weisel (1998), mais réfuté par Zwiener *et al.* en 2007. En effet, aux pH habituels des eaux de piscines, ces composés sont sous forme ionique ce qui limite leur absorption par voie cutanée (pKa de 1,48 pour l'acide dichloroacétique et 0,78 pour l'acide trichloroacétique) (Kim et Weisel, 1998).

Le tableau XI reprend l'ensemble des résultats analytiques en AHA dans les établissements équipés de piscines et/ou de bains à remous.

**Tableau XI : Concentrations en acides haloacétiques retrouvées dans les eaux de piscine en France et à l'international.**

		AHA (en µg.L <sup>-1</sup> )			
		DCAA		TCAA	
Auteurs	Pays	Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme
Lee <i>et al.</i> , 2010	Corée	68,3	14,1 à 246	156,4	19,7 à 636
Berg <i>et al.</i> , 2000	Suisse	76	0,9 à 240	44,9	17,1 à 94,7
Cardador <i>et al.</i> , 2010	Etats-Unis	106	65 à 138	25,6	21 à 32
Kim et Weisel ; 1998	Etats-Unis	419	52 à 647	420	57 à 871
Simard , 2009	Quebec	500	-	400	-
Afsset, 2009b	France	94,4	12 à 247	130,1	16 à 300

Une étude menée dans des établissements français et financée par l'Afsset (Afsset, 2009b) montre également que les teneurs en AHA, et principalement en DCAA, sont relativement plus élevées dans les eaux des bains à remous que dans celles des piscines. Le tableau XII illustre cette prédominance du DCAA par rapport au TCAA.

**Tableau XII : Comparaison des teneurs en acides haloacétiques dans les eaux de piscines et de bains à remous.**

		AHA (en $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			
		DCAA		TCAA	
bassin	Nombre de bassin	Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme
Piscines	7	94,4	12 à 247	130,1	16 à 300
Bains à remous	5	112,5	8,9 à 498	100,7	8,1 à 368

(source : Afsset, 2009b)

### *Haloaldéhydes*

Les haloaldéhydes (HAD) sont les troisièmes représentants des sous-produits de désinfection les plus fréquemment rencontrés dans les eaux de piscines, après les AHA et les THM (OMS, 2006 ; De Laat, 2009). Ils représentent entre 15 et 20 % des AOX (Brunet *et al.*, 2010) dans les eaux de piscine.

Le principal haloaldéhyde est l'hydrate de chloral (ou trichloroacétaldéhyde) suivi du dichloroacétaldéhyde. L'hydrate de chloral a des effets sédatifs et hypnotiques. A forte dose il est génotoxique (Afsset, 2010a). Suite au rapport « Piscines » (Afsset, 2010a), une valeur toxicologique de référence (VTR) chronique pour la voie orale pour les effets hépatotoxiques de l'hydrate de chloral a été construite ; elle est de  $28 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (Anses, 2011).

Une étude française (Afsset, 2009b), a montré que les concentrations en hydrate de chloral étaient plus élevées dans les piscines que dans les bains à remous (Tableau XIII). Ceci peut s'expliquer par la dégradation accélérée de l'hydrate de chloral en chloroforme due à l'augmentation de la température (Brunet *et al.*, 2010).

**Tableau XIII : Comparaisons des teneurs en hydrate de chloral dans les piscines et bains à remous désinfectés au chlore.**

	Nombre de bassinS	Hydrate de chloral (en $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	
		Moyenne	Gamme
Bassin			
Piscines	7	143,4	38-250
Bains à remous	5	90,7	9,4 - 300

La recherche bibliographique n'a pas permis de mettre en évidence des études signalant la présence d'hydrate de chloral dans l'atmosphère des bains à remous. Le transfert de l'hydrate de chloral en phase gazeuse semble peu probable car il est faiblement volatil (Santé Canada, 2008) mais sa présence dans les aérosols ne peut pas être exclue.



### Haloacétonitriles

Les haloacétonitriles (HAN) regroupent principalement le dichloroacétonitrile (DCAN,  $\text{CNCHCl}_2$ ), le trichloroacétonitrile (TCAN,  $\text{CNCCl}_3$ ), le bromochloroacétonitrile (BCAN,  $\text{CNCHBrCl}$ ) et le dibromoacétonitrile (DBAN,  $\text{CNCCl}_2\text{Br}$ ).

Les HAN sont des substances solubles qui se décomposent rapidement par réaction d'hydrolyse ou par réaction avec le chlore résiduel. Ce sont des substances lipophiles et faiblement volatiles. Les HAN sont également des sous-produits de dégradation des THM et des AHA.

Les études de Weaver *et al.* (2009), de Lee *et al.* (2010) et de l'Afsset (2009 b) ont montré que ces composés se retrouvent dans les eaux de piscines désinfectées par le chlore. Le composé majoritaire est le DCAN, suivi du BCAN (voir tableau ci-dessous). Le DCAN a été également mesuré dans les bains à remous (Afsset, 2009b).

Le DCAN est un irritant respiratoire qui serait plus cytotoxique que les THM. De façon générale, les dérivés bromés et chlorés contenant de l'azote seraient beaucoup plus nocifs pour la santé que ceux n'en contenant pas (Weaver *et al.*, 2009).

Le dichloroacétonitrile, le dibromoacétonitrile, le bromochloroacétonitrile et le trichloroacétonitrile ne peuvent être classés comme cancérigènes pour l'Homme d'après l'IARC (OMS, 2011). Le dichloroacétonitrile et le bromochloroacétonitrile semblent être mutagènes (OMS, 2011).

La production des HAN est directement liée à la teneur en composés azotés apportés par les usagers (urée, ammonium, créatine, acides aminés) (OMS, 2006 ; Li et Blatchley, 2007 ; Weaver *et al.*, 2009). Les conditions spécifiques des bains à remous et en particulier la température élevée de l'eau favorisent leur formation (OMS, 2011).

**Tableau XIV : Concentrations en haloacétonitriles dans les eaux de piscine et de bains à remous.**

Auteur	Pays	Nombre d'analyses	HAN (en $\mu\text{g.L}^{-1}$ )							
			DCAN		TCAN		BCAN		DBAN	
			médiane	gamme	médiane	gamme	médiane	gamme	médiane	gamme
Lee <i>et al.</i> , 2010	Corée du Sud	86	2,7	0,5 à 12,2	n.d	-	0,7	Nd à 1,9	0,4	Nd à 0,9
Weaver <i>et al.</i> , 2009	Etats-Unis	31	12,1	0,58 à 87,1	n.r	-	n.r	-	n.r	-
Afsset, 2009 b	France (bain à remous)	15	22	3,7 à 50	-	n.d à 26*	n.r	-	-	-
	France (piscines)	17	33,5	16 à 64	n.d	n.d	n.r	-	-	-

n.d : non détecté ; n.r : non recherché

\* : retrouvé 1 fois (sur 3 campagnes) dans un seul bain à remous

### Nitrosamines et nitramines

Ces deux familles de composés sont générées par la réaction entre le chlore et les composés azotés apportés par les usagers (urine et sueur) en particulier les ions ammonium et nitrites, la diméthylamine et la triméthylamine (De Laat *et al.*, 2009).

Les nitrosamines regroupent notamment la *N*-nitrosodiméthylamine (NDMA), la *N*-nitrosométhyléthylamine, la *N*-nitrosodiéthylamine, la *N*-nitrosodipropylamine, la *N*-nitrosodibutylamine, la *N*-nitrosopyrrolidine et la *N*-nitrosopipéridine.

L'OMS recommande une limite de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'eau de boisson (OMS, 2011).

Or les études menées sur la NDMA montrent que la concentration de ce composé dans les piscines réglementées et les bains à remous est largement supérieure à celle retrouvées dans l'EDCH (tableau 19). En effet, les eaux récréatives contiennent des précurseurs azotés (urine, sueur) en quantité plus importante (Walse et Mitch, 2008 ; Anses, 2009).

La *N*-nitrosodibutylamine et la *N*-nitrosopipéridine ont été également détectées dans les bains à remous mais n'ont pu être quantifiées (Walse et Mitch, 2008).

Compte tenu des propriétés physico-chimiques des nitrosamines, l'exposition par inhalation et par contact cutané-muqueux est possible. Des études ont montré le passage transcutané de la NDMA et de la *N*-nitrosodibutylamine à travers la peau et les tissus de la vessie chez l'animal (Wishnok, 1982).

Concernant les nitramines, seule la *N*-nitrodiméthylamine (DMNA) a été retrouvée dans les eaux de bains à remous (Walse et Mitch, 2008). Les nitramines sont potentiellement cancérigènes et mutagènes mais leur toxicité est plus faible que les nitrosamines. En ce qui concerne la DMNA, la production semble également plus importante à forte température (Walse et Mitch, 2008).

**Tableau XV : Concentrations en *N*-nitrosodiméthylamine et *N*-nitrodiméthylamine retrouvées dans les eaux de piscine et de bains à remous désinfectées au chlore:**

Auteurs	Pays	Type de bassin	NDMA (en ng.L <sup>-1</sup> )		DMNA (en ng.L <sup>-1</sup> )	
			Médiane des concentrations	Maximum des concentrations	Médiane des concentrations	Maximum des concentrations
Walse et Mitch, 2008	Etats-Unis	Piscines intérieures	32	44	50	140
		Piscines extérieures	5,3	6,9	64,5	110
		Bains à remous (41°C)	313	429	203	235
Afsset, 2009 b	France	Piscines intérieures	0	26	-	-
		Bains à remous (33°C)	n.d	n.d	-	-

Nd : non détecté

### Cyanogènes

Le chlorure de cyanogène (formule CNCl) se forme par réaction entre le chlore et les matières organiques apportées par les baigneurs (urine, sueur et desquamation). Ce composé est également formé à partir des chloramines qui peuvent réagir avec les ions ammonium (OMS, 2003 b).

Le chlorure de cyanogène est un composé peu soluble et très volatil. Il est irritant pour les yeux et la peau et est toxique par inhalation (NIOSH, 2005). L'OSHA et le NIOSH proposent une VLEP de 0,3 mg.L<sup>-1</sup> pour la phase aqueuse et de 0,75 mg.m<sup>-3</sup> pour la phase gaz.

Des analyses effectuées dans des bassins de natation montrent des valeurs habituellement comprises entre 1 et 10 µg.L<sup>-1</sup> dans l'eau. La valeur la plus forte est obtenue lorsque les concentrations en chlore libre et en trichloramine sont les plus faibles (ce qui peut s'expliquer par un défaut de transformation en sous-produits de dégradation, comme l'ion cyanate, par ailleurs, beaucoup moins toxique) (Weaver *et al.*, 2009).

Weaver a montré une corrélation entre la teneur en chlore libre et CNCl : la concentration en CNCl augmente quand la teneur en chlore libre diminue. Ainsi, un déficit en chlore libre, comme ceci est observé dans certains bains à remous, favorise l'apparition de ce composé très toxique (Weaver *et al.*, 2009). Na et Olson (2004) ont montré que l'augmentation de la température de l'eau favorise la dégradation du chlorure de cyanogène et le chlore son oxydation.

#### 4.2.1.2 Sous-produits d'ozonation

Très peu de bains à remous sont désinfectés par l'ozone en France. Seuls deux établissements étaient recensés dans la base SISE-Eaux en 2009.

Une liste des principaux sous-produits formés lors de l'ozonation des eaux de piscines a été présentée dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a). Cependant on peut noter que lorsque la température de l'eau est supérieure à 30 °C, la décomposition de l'ozone en radicaux hydroxyles et la réaction de ces derniers avec la matière organique présente dans l'eau sont favorisées (Siddiqui et Amy, 1993) ; la formation des sous-produits de désinfection devrait donc être également renforcée.

Il est également important de noter que le sous-produit d'ozonation présentant le plus de risques pour la santé des baigneurs est l'ion bromate dont la limite de qualité dans l'EDCH a été fixée à 10 µg.L<sup>-1</sup> en raison de sa cancérogénicité (risque additionnel de cancer de 10<sup>-5</sup> pour une concentration en bromate de 2 µg.L<sup>-1</sup> selon l'OMS) (Afssa, 2009 ; OMS, 2011). La formation des bromates se fait par un processus d'oxydation des bromures selon deux mécanismes décrits à la Figure 16.

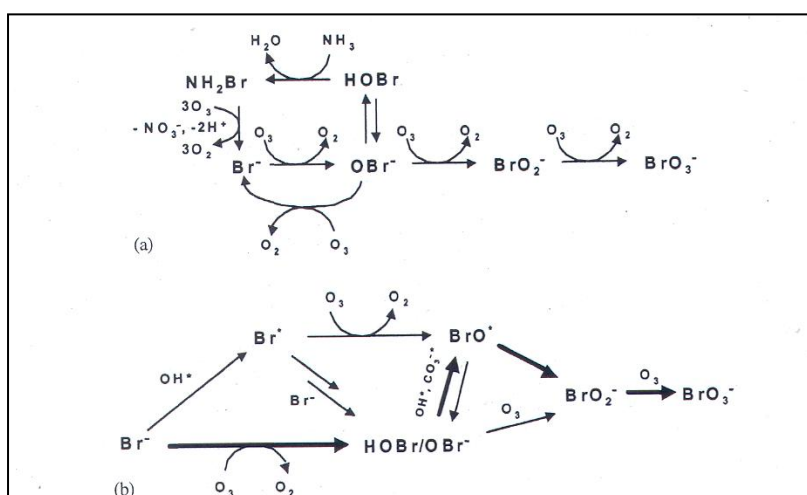


Figure 16 : Mécanisme de formation des ions bromates lors de l'ozonation de l'eau.

(Source : Von Gunten, 2003)

L'étape limitante pour l'oxydation des bromures en bromates est l'oxydation de  $\text{BrO}^-$ . Plus l'eau contient des bromures, plus son ozonation conduira à une concentration en  $\text{HOBr}$  élevée. Dans les eaux potables, il est admis que si les concentrations en bromures dépassent 50 µg.L<sup>-1</sup>, il est régulièrement observé des dépassements de la valeur de 10 µg.L<sup>-1</sup> en bromates (Von Gunten, 2003).

Les concentrations en bromates ne devraient cependant pas augmenter par rapport à l'eau d'alimentation des bassins si l'eau des bains à remous est traitée avec de l'ozone. En effet, si l'EDCH alimentant le bassin a été désinfectée au chlore, les bromures ont été oxydés et il n'y a plus de bromure libre pouvant conduire à la formation de bromates. Par ailleurs, la présence d'azote ammoniacal inhibe la formation de ces ions (Koudjonou *et al.*, 1996). Le pH, dans la

gamme utilisé en piscine réglementée, n'a pas d'influence significative sur la formation des bromates.

#### 4.2.1.3 Points à retenir

Les sous-produits de chloration rencontrés dans les bains à remous alimentés avec de l'EDCH sont identiques à ceux retrouvés dans les piscines réglementées. Néanmoins, étant donné les conditions particulières de fonctionnement des bains à remous (température, aération), les dangers les plus importants sont liés aux composés les plus volatils, notamment le chloroforme et les chloramines, dont les concentrations dans l'air sont particulièrement à surveiller. Le chlorure de cyanogène peut être considéré comme un sous-produit émergent dont la présence dans les atmosphères des bains à remous est fortement soupçonnée (de part sa présence en piscine réglementée et sa cinétique de formation directement corrélée à la température et à une insuffisance de chloration), mais aucune étude n'a encore été menée à son sujet.

Le risque lié aux bromates formés lors de l'ozonation est faible car l'ingestion n'est pas une voie d'exposition majoritaire dans le cadre des bains à remous.

Des études sont à mener dans le domaine des mécanismes de formation des aérosols chimiques à la surface des eaux des bains à remous et qui pourraient être inhalés par les usagers. Ainsi, aucune étude n'a pour l'instant pris en compte la possibilité de migration dans les aérosols de composés considérés comme non volatils (acides haloacétiques, haloalédhydes, haloacétonitriles).

### 4.2.2 Dangers microbiologiques

Le rapport « Piscines » (Afsset, 2010 a) identifie les dangers microbiologiques potentiellement liés aux piscines alimentées par de l'EDCH. Ces dangers, tels *Staphylococcus aureus*, sont également susceptibles d'être présents dans les bains à remous et ne seront pas décrits de nouveau. Le présent rapport expose uniquement les dangers microbiologiques qui sont spécifiques aux bains à remous et/ou dont la présence ou le développement est favorisé par l'augmentation de la température de l'eau et le bullage. Plusieurs études ont montré la présence de micro-organismes dans les aérosols (Stetzenbach, 1992, Gilbert et Duchaine, 2009, Goyer *et al.*, 2001 ; Lighthart et Mohr, 1987). Bien que certains paramètres de l'air, comme les teneurs en radicaux libres ou en oxygène, sont susceptibles de diminuer la viabilité de certains micro-organismes, d'autres conservent leur pouvoir infectieux et peuvent être à l'origine de pathologies chez le baigneur et le personnel (Mohr, 2007 ; Gilbert et Duchaine, 2009 ; Goyer *et al.*, 2001 ; Lighthart et Mohr, 1987).

Les dangers d'origine microbiologique évoqués ci-après sont majoritairement identifiés sur la base de résultats épidémiologiques. Ces publications sont souvent incomplètes et proviennent principalement de pays dans lesquels la gestion des bains à remous est souvent différente de celle appliquée en France. Certaines informations relatives à ces dangers microbiologiques (résistance au chlore, virulence, *etc.*) figurent dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) et ne sont pas rappelées ici.

#### 4.2.2.1 Dangers bactériens

Les bactéries sont susceptibles d'être présentes dans l'eau des bassins à remous à des concentrations élevées en raison de la température de l'eau, qui est généralement proche de leur optimum de croissance, d'une teneur en désinfectant souvent fluctuante et insuffisante et de leur capacité à s'installer dans les biofilms. Par ailleurs, l'apport de matières organiques (sueur, peaux mortes, *etc.*) important lié à la forte fréquentation au regard du volume d'eau disponible et des capacités de filtration favorise leur développement.

Les endotoxines bactériennes peuvent également causer des manifestations allergiques, une fois aéroportées. Ainsi, aux Etats-Unis, en 1989-1990, des cas de pneumopathies d'hypersensibilité ont été diagnostiqués chez 33 gardiens d'un grand centre aquatique intérieur qui comportait à la fois des piscines ludiques et des bains à remous (Rose *et al.*, 1998). Une analyse des bioaérosols et de l'eau ont montré une concentration élevée d'endotoxines aéroportées (jusqu'à 450 UE.m<sup>-3</sup>) ainsi qu'une forte contamination bactérienne de l'eau avec notamment plus de 500 000 UFC.mL<sup>-1</sup> de *Pseudomonas sp* et genres apparentés. Les auteurs ont conclu que les endotoxines étaient à l'origine de ces affections.

### *Legionella*

Les légionelles sont des bactéries d'origine hydrotellurique, ubiquitaires, capables de se multiplier au sein de protozoaires (amibes libres), et souvent présentes dans l'environnement, à l'intérieur de biofilms. Elles sont connues pour coloniser préférentiellement et, très fréquemment, les dispositifs artificiels contenant de l'eau, en présence d'une température favorable (25 à 42 °C), d'une microflore hydrique et de dépôts divers (tartres, produits de corrosion, etc.). Il est à noter, que l'espèce *Legionella pneumophila* est responsable de plus de 90 % des cas de légionellose identifiés, le sérotype 1 étant retrouvé dans plus de 80 % des cas (Nicolay *et al.*, 2008).

Deux méthodes normalisées permettent de détecter et de dénombrer les légionelles dans l'eau. La première (norme AFNOR NF T90 431) décrit une méthode conventionnelle par culture qui est reconnue pour les contrôles s'inscrivant dans un contexte réglementaire. La seconde (norme AFNOR NF T 90-471) consiste en une méthode alternative par PCR quantitative, qui présente l'avantage d'être rapide et de détecter le génome de bactéries qui ne peuvent pas toujours être isolées en culture (état pouvant résulter de traitements par biocides ou choc thermique, milieu de culture non adapté). Il n'existe pas de méthode normalisée pour la recherche des légionelles dans l'air.

Les bains à remous constituent des installations à risque (Jarraud *et al.*, 2000). Le danger sanitaire principal lié à la présence de légionelles dans les bassins à remous correspond à une infection respiratoire ou légionellose qui se manifeste sous 2 formes cliniques au profil différent : la fièvre de Pontiac, syndrome pseudo-grippal bénin, et la maladie des légionnaires, infection pulmonaire grave.

La prolifération des légionelles dans les bains à remous est due à la température de l'eau comprise entre 30 et 37 °C et à la présence d'une flore annexe souvent plus importante que dans les bassins traditionnels.

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, les bulles d'air émises dans l'eau éclatent à la surface de l'eau à proximité des individus et propagent dans l'atmosphère des gouttelettes d'eau de dimension de l'ordre du micromètre (1 à 8 µm). Les microgouttelettes d'eau sont inhalées par les baigneurs présents dans le bassin ou par les personnes séjournant à proximité, permettant aux légionelles présentes dans l'eau, d'atteindre les alvéoles pulmonaires (Jarraud *et al.*, 2000).

Dans le cas de la fièvre de Pontiac, il semblerait que les légionelles puissent provoquer les symptômes également par l'intermédiaire des endotoxines produites par les bactéries, les endotoxines pouvant être véhiculées dans les aérosols. Ainsi, Fields *et al.* (2001) évoquent le rôle possible des endotoxines de *Legionella* et d'autres bactéries dans la survenue de la fièvre de Pontiac. Ils citent la concentration élevée d'endotoxines (14 400 unités.mL<sup>-1</sup>) mesurée dans l'eau d'un bain à remous incriminé lors d'un épisode lié à *Legionella micdadei*. Toutefois, les données actuelles ne permettent pas de déterminer précisément l'implication des endotoxines des légionelles dans cette pathologie.

- Épisodes infectieux ou allergiques associés aux bains à remous

Le premier cas groupé de fièvre de Pontiac lié à un bain à remous est survenu aux Etats-Unis en 1981 (Spitalny, 1984). Trente-quatre personnes ayant fréquenté un club possédant un bain à remous ont déclaré la maladie. La relation de cause à effet a été démontrée en identifiant la même souche de *L. pneumophila* séro groupe 6 chez les patients et dans l'eau du bain à remous.

Par la suite, plusieurs épidémies de légionelloses (maladie des légionnaires et fièvre de Pontiac) ayant comme origine un bain à remous ont été identifiées : au Japon (Nakadate *et al.*, 1999 ; Nakamura *et al.*, 2003), aux Etats-Unis (Fields *et al.*, 2001 ; Benkel *et al.*, 2000 ; Burnsed *et al.*, 2007), au Royaume-Uni (Goldberg *et al.*, 1989 ; Foster *et al.*, 2006 ; McEvoy *et al.*, 2000, Modi *et al.*, 2008), en Suède (Götz *et al.*, 2001), en Nouvelle-Zélande (Ruscoe *et al.*, 2006). La plupart de ces épidémies étaient dues à l'espèce *L. pneumophila* (sérogroupes 1, 4 ou 6) ; 2 épisodes étant causés par l'espèce *Legionella micdadei*. En outre, plusieurs épisodes concernaient des bassins à remous de démonstration dans des manifestations publiques. Les investigations environnementales ont, en général, mis en évidence une maintenance défectueuse des bassins (chloration insuffisante de l'eau, fréquence de vidange inadaptée, bassins mal entretenus).

Les « centers for diseases control and prevention » (CDC) mentionnent qu'en 2005-2006, 35 % des épidémies de légionellose sont associés à l'usage de bain à remous (Yoder *et al.*, 2008). En 2007 et 2008, ils ont recensé 10 épidémies (touchant 122 personnes) causées par des légionelles et associées à l'utilisation de bains à remous. La plus importante, dans le New Jersey, a été à l'origine de 98 cas de fièvres de Pontiac. Les CDC décrivent également un cas groupé de légionelloses en Floride en 2008, suite à la fréquentation d'un bain à remous. Les investigations menées ont mis en évidence une teneur en désinfectant insuffisante dans l'eau du bassin et un système de filtration inadapté. Toutefois, aucune légionnelle n'a pu être détectée dans l'eau du bassin lors de l'enquête (CDC, 2011).

En Europe, les épisodes les plus importants ont été causés par l'espèce *L. pneumophila* séro groupe 1 et ont été observés en Belgique (93 cas, 5 décès) et aux Pays-Bas (133 cas, 21 décès) en 1999 (De Schrijver *et al.*, 2003 ; Den Boer *et al.*, 2002). Ces deux épidémies n'étaient pas dues à l'usage des bains à remous mais au simple fait de circuler à proximité. Une désinfection inadéquate des bassins était à l'origine de la prolifération de la bactérie. Des épidémies liées à la fréquentation de bain à remous sont également signalées sur des bateaux de croisière, l'une d'entre elles ayant été associée à 50 cas de maladie des légionnaires en 1994 (Jernigan *et al.*, 1996).

En France, deux épidémies de légionellose susceptibles d'être liées à la fréquentation de bains à remous ont été rapportées. La première a eu lieu en 2006 à Lorquin (Alsibai *et al.*, 2006), douze cas de légionellose causés par *L. pneumophila* (séro groupe 1) ont été déclarés. La seule source d'exposition possible, suite à enquête, était un bain à remous situé dans une manifestation publique. Les analyses de l'eau du bassin n'ont pas permis de détecter de légionelles, probablement en raison du délai entre l'éclosion des cas et les prélèvements d'eau. Le second épisode s'est produit dans les Ardennes en mai 2010 (Campese *et al.*, 2010) : trois personnes ont été atteintes de la maladie des légionnaires après avoir séjourné à proximité d'un bain à remous ou après s'y être baignées, une des 3 personnes est décédée. L'analyse d'échantillons d'eau du bassin a révélé la présence de *L. pneumophila* séro groupe 1 à la concentration de 150 000 UFC.L<sup>-1</sup>. Les souches environnementales et cliniques présentaient les mêmes caractéristiques génomiques.

- Données sur l'infectiosité

Le risque de contracter une légionellose en lien avec les bains à remous varie en fonction des caractéristiques de l'exposition (concentration des légionelles dans le biofilm, l'eau et l'air, physiologie des bactéries aéroportée, propriétés physiques de l'aérosol, fréquence et durée d'utilisation du bain à remous, etc.) de l'état immunitaire des personnes exposées mais aussi des propriétés spécifiques à chaque souche de *Legionella* et/ou de *L. pneumophila*.

Les concentrations en *Legionella* sp dans l'eau de ces structures, suite à des épisodes infectieux ou allergiques, sont élevées, soit fréquemment supérieures à 10 000 UFC.L<sup>-1</sup> (Fields *et al.*, 2001 ; Jernigan *et al.*, 1996 ; Nakamura *et al.*, 2003 ; Campese *et al.*, 2010). Toutefois, le délai dans la réalisation des prélèvements ne permet pas de connaître la concentration réelle en *Legionella* au moment de l'exposition.

La dose minimum infectieuse par voie aérienne n'est pas connue. Certaines modélisations (modèle exponentiel, beta-poisson, Monte Carlo, *etc.*) ont été développées pour quantifier ce risque mais ces modèles nécessitent encore d'être affinés (Armstrong et Haas, 2007a ; Schoen et Ashbolt, 2011).

Armstrong et Haas (2007a) ont cherché à évaluer la dose d'exposition chez l'Homme à l'aide de reports de cas liés à la fréquentation de bains à remous en appliquant le modèle de Monte Carlo. Dans cette démarche, les principales étapes du processus induisant la maladie ont été déroulées : concentration des légionelles dans l'eau des bains à remous, caractérisation des aérosols, durée de l'exposition et paramètres de ventilation des locaux dans lesquels les équipements étaient installés. Ces valeurs d'exposition restent incertaines en raison du manque d'informations relatives aux concentrations en légionelles dans l'eau et dans l'air lors de l'exposition, à la virulence des souches aéroportées, à la caractérisation et à la dispersion des aérosols, *etc.* Armstrong et Haas (2007b) ont également tenté d'établir une relation dose-réponse chez l'Homme à partir d'études réalisées sur des cobayes exposés à des aérosols contaminés par *L. pneumophila* et à partir des valeurs d'exposition chez l'homme précédemment définies. Toutefois, cette évaluation quantitative du risque reste incomplète et ne peut être retenue. En effet, elle ne prend pas en compte certains facteurs importants comme la survie des légionelles dans les aérosols, leur virulence une fois aéroportées, les limites de la transposition animal – Homme.

De leur côté, Schoen et Ashbolt (2011) ont publié une première modélisation pour estimer l'exposition chez l'Homme aux légionelles lors de la prise d'une douche. Ce modèle inclut les étapes suivantes : la composition microbienne du biofilm, le détachement du biofilm, la quantité d'aérosols formés, la fraction des légionelles libérées dans l'eau susceptibles d'être aéroportées, et l'aptitude de ces bactéries à pénétrer dans les poumons et à y déclencher une pathologie.

Ces premières étapes dans l'évaluation du risque sanitaire associé aux légionelles sont intéressantes, même si elles ne conduisent pas pour l'instant à des valeurs de dose minimum infectante.

- Occurrence des légionelles dans les bains à remous

Plusieurs études ont été menées afin de connaître la prévalence des légionelles dans l'eau des bains à remous.

En 1985, aux Pays-Bas, Groothuis *et al.* (1985) ont mis en évidence l'espèce *L. pneumophila* dans 22 % (11/51) des bains à remous sélectionnés, la teneur en chlore libre des 11 bassins était en dessous de 0,3 mg.L<sup>-1</sup>.

Heng *et al.* (1997) n'ont détecté le genre *Legionella* que dans 2 % (1/48) des bains à remous étudiés de la République de Singapour.

Une étude récente au regard de la prévalence du genre *Legionella* et de l'espèce *L. pneumophila* dans les bains à remous a été conduite au Canada. Un suivi de la qualité bactériologique de l'eau de 95 bains à remous de 3 régions de la province du Québec a été entrepris durant l'été 2008. Ce suivi impliquait la recherche d'*Escherichia coli*, de *Legionella* sp et de *P. aeruginosa*. Les légionelles sont présentes dans 22 % (21/95) des bains à remous, malgré des teneurs supérieures à 2 mg.L<sup>-1</sup> en chlore libre et à 3 mg.L<sup>-1</sup> en brome total. Il est à noter, toutefois, que seul 4 bassins étaient équipés de systèmes automatisés de contrôle du pH et du désinfectant (Institut National de Santé publique du Québec, 2009).

- Conclusion

Les légionelles, et plus particulièrement l'espèce *L. pneumophila*, sont des bactéries parfaitement adaptées aux milieux hydriques, une température entre 25°C et 37°C favorisant leur croissance. Elles sont susceptibles de survivre et de se multiplier à l'intérieur de biofilms et/ou d'amibes, ce qui les protège de l'effet bactéricide des désinfectants. Elles peuvent également être aéroportées à l'intérieur d'aérosols. De plus, leur implication est largement rapportée suite à leur présence dans des bains à remous (Jarraud *et al.*, 2000 ; Institut National de Santé Publique du Québec, 2009 ; CDC, 2011). Les légionelles, et plus spécialement *L. pneumophila*, représentent donc un danger sanitaire qu'il est nécessaire de prendre en compte.

#### *Les mycobactéries non tuberculeuses*

Les mycobactéries non tuberculeuses (MNT) sont fréquemment présentes dans l'environnement naturel, principalement dans l'eau et dans le sol. Elles constituent un groupe hétérogène d'espèces (environ 125) présentant une grande diversité (Griffith *et al.*, 2007, Lucas *et al.*, 2007). La plupart sont des saprophytes mais certaines espèces se comportent en pathogènes pour l'Homme. 95% des infections chez l'homme sont liées à *M. avium*, *M. kansasii*, *M. xenopi*, *M. chelonae*, *M. scrofulaceum* et *M. marinum* (Ziza et Desplaces, 2006). Cambau *et al.* (2008) soulignent que, dans la majorité des cas d'infection aux MNT, l'eau constitue la source de contamination. Les mycobactéries du complexe *M. avium*, composé de deux espèces, *M. avium* et *M. intracellulare*, sont très souvent impliquées dans les pneumopathies d'hypersensibilité. Ces pneumopathies d'origine immunoallergique représentent un problème clinique d'importance croissante en pneumologie, touchant les patients immunocompétents comme les immunodéficients (Panteix, 2000 ; Garcia Garcia *et al.*, 2005).

La présence d'acides gras particuliers (acides mycoliques à longue chaîne) dans la paroi cellulaire des MNT leur confère un caractère hydrophobe plus élevé que celui des autres micro-organismes (van Oss *et al.*, 1975). Cette propriété facilite leur adhésion sur des surfaces et par conséquent dans des biofilms (Schulze-Röbbecke & Fischeider, 1989 ; Livanainen *et al.*, 1999 ; Falkinham *et al.*, 2001). De plus, en raison de cette particularité, les MNT, lorsqu'elles sont présentes dans l'eau, se concentrent dans les bulles d'air naissantes. Lorsque ces bulles atteignent la surface de l'eau, elles éclatent en éjectant une ou plusieurs gouttelettes, dont des aérosols, à environ 10 cm au-dessus de la surface d'eau (Blanchard et Szydek, 1978). L'affinité de ces MNT hydrophobes avec la matière organique concentrée en surface conduit à une grande accumulation de ces bactéries au niveau de l'interface eau - air (Wendt *et al.*, 1980 ; Blanchard et Hoffman, 1978). Les concentrations en MNT retrouvées dans l'eau peuvent être jusqu'à 10 000 fois moindres que celles retrouvées dans les gouttelettes au dessus de la surface de l'eau (Parker *et al.*, 1983). L'ensemble de ces phénomènes explique le transfert de ces bactéries à des concentrations élevées dans les aérosols.

Ces bactéries peuvent également se comporter en bactéries intracellulaires d'amibes, ce qui facilite la transmission hydrique et les protège des environnements hostiles (Ben Salah et Drancourt, 2010).

Les différentes espèces de MNT se distinguent par leur capacité à se développer sur une large gamme de températures allant de 20 °C à 50 °C. Ainsi, certaines espèces sont connues pour être thermophiles, comme *M. xenopi*, avec une température optimale de croissance de 43 °C ou *M. avium*, qui est capable de se développer à 52 °C. D'autres espèces, à l'inverse, sont plus souvent isolées dans des eaux froides, telles *M. kansasii* (Schulze-Röbbecke & Buchholtz, 1992) ou *M. marinum*, dont la température optimale de croissance est voisine de 30 °C (Panteix, 2000).

Il n'existe aucun protocole standard pour détecter les MNT dans les échantillons de l'environnement. Les méthodes par culture sont longues, de quelques semaines à plusieurs mois selon la croissance des souches. L'emploi récent de techniques moléculaires (PCR en temps réel, techniques d'hybridation, *etc.*) améliore la précision des diagnostics et le temps nécessaire à la détection des MNT (Lucas *et al.*, 2007).



Les manifestations cliniques les plus courantes en lien avec les bains à remous sont les pneumopathies d'hypersensibilité dues à l'exposition à des aérosols provenant d'eau contaminée par des MNT et des infections cutanées.

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la voie aérienne (inhalation par le baigneur d'aérosols) et la voie cutanée (contact du baigneur avec l'eau ou les surfaces du bassin) sont les 2 modes de contamination incriminés.

- Épisodes allergiques ou infectieux associées aux bains à remous

### **Pneumopathie**

L'origine exacte des pneumopathies liées aux MNT est controversée : certains auteurs (Hanak *et al.*, 2007 ; Sood *et al.*, 2007) parlent de pneumopathies d'hypersensibilité qui font intervenir des phénomènes immunoallergiques alors que d'autres estiment que ces pathologies sont liées à l'activité de l'infection et à la réaction inflammatoire qui en découle (Taytard et Texier Maugein, 2011, Glassroth, 2008).

Le premier cas d'infection à mycobactérie atypique, lié à l'utilisation fréquente d'un bain à remous, a été signalé en 1997 au Canada (Kahana *et al.*, 1997). Une jeune femme a déclaré une pneumopathie associée à des réactions cutanées alors qu'elle ne présentait aucun antécédent de problèmes pulmonaires ou immunitaires. La relation de cause à effet a été démontrée en identifiant la même souche de *M. avium* dans la biopsie pulmonaire de la patiente et dans l'eau du bain à remous privé dans lequel elle s'était baignée.

Deux revues rétrospectives réalisées aux Etats-Unis (Hanak *et al.*, 2006 ; Sood *et al.*, 2007) révèlent que 21 cas de pneumopathie liés à l'usage de bains à remous ont été diagnostiqués dans une clinique (Mayo Clinic, Rochester) sur une période de 7 ans (de 1997 à 2004) et 4 cas chez des praticiens de l'Illinois sur une période de 4 ans (2001-2005).

Il est à noter que la majorité de ces cas de pneumopathies d'hypersensibilité rapportés aux Etats-Unis mettent en cause la fréquentation de bains à remous à usage familial (Embil *et al.*, 1997, Verma *et al.*, 2007, Mangione *et al.*, 2001 ; Travaline et Kelsen, 2003 ; Waninger et Young, 2006 ; Lumb *et al.*, 2004).

En France, environ une dizaine de cas par an de pneumopathies liés à l'usage de bains à remous serait répertoriée. Ce nombre est probablement en deçà de la réalité car cette pathologie est encore peu connue et, de ce fait, sous-diagnostiquée (communication personnelle, Pr Reboux).

### **Dermatite**

En 2000, un cas de dermatite granulomateuse, liée à *M. intermedium* provenant d'un bain à remous privé, et créant des lésions au niveau du haut du dos (aux endroits d'arrivée des jets d'eau du bain à remous) a été signalé aux Etats-Unis (Edson *et al.*, 2006).

- Occurrence des MNT dans les bains à remous

L'eau de plusieurs bains à remous aux Pays-Bas a été analysée pour détecter une éventuelle contamination par les MNT. Sur les 73 échantillons prélevés, 60 se sont révélés positifs (82%). L'EDCH alimentant ces bains à remous contenait également des MNT (68 % des échantillons d'eau positifs) mais à une concentration environ 10 fois inférieure à celle mesurée dans les bains à remous. Certaines souches ont pu être identifiées à *M. gordonae*, *M. kansakii*, *M. avium* et *M. fortuitum*. *M. marinum* n'a jamais été retrouvée dans les échantillons analysés. Toutefois, ces équipements différaient dans leur modalité de fonctionnement des installations classiques : la désinfection de l'eau étant réalisée de façon discontinue, à une fréquence de 2 à 3 fois par jour à une fois par semaine (Halevaar *et al.*, 1985).

L'étude la plus complète a été réalisée aux Etats-Unis et publiée en 2007 (Glazer *et al.*, 2007). Cette étude a investigué 9 bains à remous afin de mieux connaître la prévalence des MNT dans ce

type de structure. Elles ont été recherchées à la fois dans l'eau et dans l'air; des analyses physico-chimiques de l'eau ont également été effectuées. Les prélèvements ont été réalisés pendant la période automne-hiver, période correspondant à la fréquentation maximale des établissements.

Des MNT ont été isolées de l'eau ou de l'air de respectivement 33 % et 55 % des établissements. La concentration maximale de mycobactéries dans l'eau a été de 1 000 UFC.mL<sup>-1</sup> avec une médiane de 5 UFC.mL<sup>-1</sup>. Dans deux des bains à remous étudiés, ces bactéries n'ont été retrouvées que dans les échantillons d'air (avec une concentration maximale de 29 et 53 UFC.m<sup>-3</sup>). Une corrélation positive a été mise en évidence entre les concentrations en mycobactéries dans l'eau des bassins et celles dans l'air. En revanche, il n'existe pas de corrélation entre la concentration en MNT et la concentration résiduelle en désinfectants. Ces bactéries ont, en effet, été retrouvées dans de l'eau malgré une concentration en brome libre de 6,75 mg.L<sup>-1</sup> ou de chlore libre de 3 mg.L<sup>-1</sup>. Enfin, le taux de renouvellement de l'eau est négativement corrélé à la concentration dans l'eau et dans l'air de MNT. Toutefois, l'interprétation de ces résultats est à faire avec prudence en raison du nombre limité de bassins échantillonnés.

- Conclusion

La transmission des MNT à l'homme dans les bains à remous peut se faire soit par inhalation, soit par contact au niveau d'une peau lésée. Les MNT par leur capacité à être hébergées au sein d'amibes, leur aptitude à former des biofilms, leurs propriétés de résistance envers des bactéricides chimiques, y compris le chlore (Taylor *et al.*, 2000) et leur survie dans les aérosols (Falkinham, 2003), représentent un danger biologique à prendre en considération.

#### *Pseudomonas aeruginosa*

*P. aeruginosa* est une bactérie ubiquitaire, largement distribuée dans la végétation, le sol et l'eau. Elle se distingue par sa grande adaptabilité, par son aptitude à survivre plusieurs mois dans l'eau voire s'y multiplier et par sa capacité à former des biofilms (Husson *et al.*, 2000).

Une méthode normalisée permet la détection et le dénombrement de *P. aeruginosa* dans les eaux. Cette norme (AFNOR NF ISO 16 266) consiste en une méthode traditionnelle par culture sur milieu sélectif. Elle est déjà appliquée pour les contrôles des eaux de piscines s'inscrivant dans un contexte réglementaire lorsque les ARS exigent la recherche de ce paramètre.

Moore *et al.* (2002) mentionnent que la température élevée de l'eau des bains à remous, la présence relativement élevée de matières organiques en suspension (squames des baigneurs, *etc.*) et la chute fréquente de la teneur en désinfectant (due à l'aération de l'eau par les jets d'air et à l'arrivée subite de plusieurs baigneurs) favorisent la prolifération de cet agent pathogène opportuniste. La bactérie peut non seulement se retrouver dans l'eau de ces bassins mais également être associée sous forme de biofilm aux diverses composantes de l'installation (filtres, canalisations, parois et fond du bassin, *etc.*) (Mena et Gerba, 2009).

La pathologie prédominante liée à la présence de *P. aeruginosa* dans les bassins à remous réside en une infection cutanée nommée folliculite; d'autres pathologies peuvent toutefois être contractées : dermatite, otite externe, conjonctivite et kératite (souvent chez les porteurs de lentilles de contact), infection urinaire. Il est à noter que ces infections peuvent devenir sérieuses chez les sujets fragilisés ou dont l'immunité est compromise (maladies hématologiques, diabète, grands brûlés, SIDA, mucoviscidose, chimiothérapie, *etc.*). Par ailleurs, le risque d'infection s'accroît pendant la baignade car la peau sèche s'altère après une immersion prolongée et ses facultés de barrière anti-infectieuse peuvent être ainsi diminuées, notamment chez les enfants (Baruchin *et al.*, 1996 ; Mena et Gerba, 2009).

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la voie principale de contamination à *P. aeruginosa* est le contact, soit direct avec un sujet infecté, soit indirect par le biais de l'eau ou des surfaces. La contamination est favorisée en cas de rupture traumatique de la barrière cutanée et en cas de modification de la flore cutanée commensale (Mena et Gerba, 2009).

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

La revue de Mena et Gerba (2009) dénombre 49 épidémies (représentant 714 individus) d'infections à *P. aeruginosa* en rapport avec une fréquentation de bains à remous.

L'OMS (2006) estime qu'il est difficile d'évaluer le nombre réel d'infections à *P. aeruginosa* lié à la fréquentation de bains à remous car les symptômes n'imposent pas obligatoirement une consultation médicale. L'InVS (2006) confirme que des épidémies communautaires de folliculites à *P. aeruginosa* sont rarement décrites en France.

### **Folliculites**

La folliculite - ou dermite des piscines- est une infection des follicules de la peau qui survient généralement 48 heures après l'exposition. Elle peut s'accompagner d'une sensation de malaise, d'une otite externe ou d'une conjonctivite (Molina *et al.*, 1991 ; Berger et Seifert, 1990). La prise d'une douche après la baignade ne serait pas protectrice (Yu *et al.*, 2007).

Le taux d'attaque lors des épidémies est variable. Ainsi, Gustafson *et al.* (1983) rapportaient des taux d'attaque de 7 à 100 %. Le taux d'attaque est en général plus élevé chez les enfants que chez les adultes (Ratnam *et al.*, 1986).

Les cas d'infection ne semblent pas être corrélés avec la quantité de *P. aeruginosa* détectée dans l'eau, celle-ci pouvant varier entre 10 et plusieurs milliers de bactéries (Mena et Gerba, 2009). Toutefois, certains auteurs affirment que toute présence de *P. aeruginosa* pourrait comporter un risque pour les baigneurs. La Health Protection Agency (HPA) avance qu'une concentration supérieure à 50 UFC.100 mL<sup>-1</sup> pourrait être suffisante pour infecter les baigneurs (Institut National de Santé Publique du Québec, 2009). Price et Ahearn (1988) évoquent un risque réel avec des concentrations de plus de 100 000 UFC.100 mL<sup>-1</sup>.

Entre 1972 et 1985, des cas groupés de folliculites dues à *P. aeruginosa* et liés à l'utilisation d'un bain à remous ont été mentionnés aux Etats-Unis, au Canada et au Royaume-Uni (Ratnam *et al.*, 1986). Ainsi, en 1985, aux Etats-Unis, 12 personnes ont contracté une folliculite suite à la fréquentation d'un bain à remous, aucune information complémentaire n'est donnée sur la maintenance du bassin et les teneurs en désinfectant (Insler et Gore, 1986).

Une étude canadienne a signalé 1 cas groupé de folliculites suite à la fréquentation d'un bain à remous situé dans un hôtel (26 personnes soit 72 % des usagers ont été concernés). La souche responsable de l'infection a été identifiée comme *P. aeruginosa* de sérotype 0:7 et a été mise en évidence dans les échantillons d'eau prélevés dans le bain à remous à une concentration comprise entre 8.10<sup>2</sup> et 3,4.10<sup>5</sup> UFC.100 mL<sup>-1</sup>. Les investigations menées ont également révélé une teneur en brome insuffisante dans l'eau le jour de l'incident (Ratnam *et al.*, 1986).

Un report de cas, suite à la fréquentation d'un bain à remous a été mentionné par le CDC en 1999 dans le Colorado (JAMA, 2001). Dix-neuf personnes ont développé une folliculite plus ou moins sévère. Des analyses réalisées sur l'eau du filtre ont mis en évidence la présence de *P. aeruginosa*. Les investigations environnementales complémentaires ont montré une chloration de l'eau à 1 mg.L<sup>-1</sup> (en dessous des valeurs réglementaires) et ceci, durant 69 heures.

Pour les années 2003 -2004, aux Etats-Unis, 8 épidémies de folliculites à *P. aeruginosa* associées à des bains à remous ont été rapportées dont une touchant 119 personnes (Institut National de

Santé Publique du Québec, 2009). Quatre épisodes de folliculites à *P. aeruginosa* dans des bains à remous ont été signalés aux Etats-Unis entre 2005 et 2006, malheureusement aucun détail sur ces épisodes n'a été donné par le CDC (Yoder *et al.*, 2008). En 2007 et 2008, les CDC ont recensé 3 épidémies de folliculites, touchant 45 personnes, et liées à l'utilisation de bains à remous. La plus importante, dans un hôtel à New York, a été à l'origine de 23 cas (CDC, 2011).

En France, en 2004, un cas groupé de folliculites à *P. aeruginosa* a été notifié à l'ARS de Corse du Sud. Cinq personnes ont été atteintes. Suite à l'investigation, ce cas groupé serait lié à l'utilisation du bain à remous d'un hôtel. En effet, une personne atteinte d'une folliculite préexistante avait fréquenté le bain à remous durant la même période. Le bain à remous ne faisait pas l'objet d'un contrôle sanitaire spécifique et ne disposait d'aucun carnet sanitaire. Il était équipé d'un système de filtration associé à une désinfection par le brome, et subissait, aux dires de l'exploitant, une vidange totale ainsi qu'une désinfection tous les 2 jours. Toutefois, la relation de cause à effet n'a pas pu être démontrée car la recherche de la bactérie dans l'eau du bassin a été effectuée de façon trop tardive et après plusieurs vidanges complètes et désinfections du bain à remous (InVS, 2006).

Au Québec, trois cas groupés associés à *P. aeruginosa* ont été signalés de 2005 à 2007 et 15 personnes au total ont été affectées (Institut National de Santé Publique du Québec, 2009).

Enfin, Yu *et al.* (2007) évoquent une épidémie de folliculites aux Etats-Unis suite à la fréquentation d'un bain à remous chez 33 enfants et adolescents, âgés de 4 à 20 ans. La comparaison par biologie moléculaire entre la souche de *P. aeruginosa* clinique et celle isolée de l'eau du bassin a montré une homologie de 98,9 %. Toutefois, ces informations sont données sans précision sur le fonctionnement et l'entretien du bain à remous.

Le nombre de cas de folliculites liés à la fréquentation de bains à remous cités dans la littérature indiquent que cette infection cutanée est plus souvent contractée après baignade dans les bains à remous que dans les piscines traditionnelles.

### **Otites**

*P. aeruginosa* est responsable de près de 70 % des cas d'otites externes, et est fréquemment associé à la baignade. L'otite est facilitée par un traumatisme de l'oreille, l'humidité et la macération. Cette pathologie concerne plus particulièrement les personnes qui nagent en immergeant la tête et, de ce fait, les bains à remous sont peu impliqués (Springer et Shapiro, 1985).

Un cas d'otite externe à *P. aeruginosa* est, notamment, décrit dans la littérature chez un bébé âgé de 19 jours, sa mère ayant accouché dans l'eau d'un bain à remous d'une maternité (Parker et Boles, 1997).

Aux Etats-Unis, les CDC ont recensé, en 2007 et 2008, 2 cas groupés d'otites à *P. aeruginosa* et associés à l'utilisation de bains à remous, sans donner plus d'information sur les enquêtes environnementales et épidémiologiques.

### **Kératites et conjonctivites**

Les kératites dues à *P. aeruginosa* sont les plus communes parmi les infections oculaires. Environ 50 % des kératites ont pour cause *P. aeruginosa*. Le port de lentilles de contact constitue le principal facteur prédisposant à ce type d'infection. Cette pathologie concerne plus particulièrement les personnes qui nagent en immergeant la tête et, de ce fait, les bains à remous sont peu impliqués (Springer et Shapiro, 1985). Parmi les 12 cas de folliculites en lien avec la fréquentation d'un bain à remous rapportés par Insler et Gore (1986), une jeune femme, portant des lentilles de contact, a également contracté une kératite. Aucune information sur les investigations environnementales n'est disponible.

- Occurrence de *P. aeruginosa* dans les bains à remous

Dans le nord de l'Irlande, la présence de *P. aeruginosa* a été recherchée dans 51 bains à remous représentant 1397 prélèvements. *P. aeruginosa* a été isolé dans 72 % des bains à remous à des concentrations comprises entre 1 UFC.100 mL<sup>-1</sup> et plus de 1 000 UFC.100 mL<sup>-1</sup> (Moore *et al.*, 2002).

Aux Etats-Unis, Kush et Hoadley (1980) ont détecté la bactérie dans 62 % (15/24) des échantillons d'eau de 8 bains à remous à une concentration pouvant atteindre 2 400 UFC.100 mL<sup>-1</sup>.

La prévalence de *P. aeruginosa* au niveau des bains à remous à Atlanta a également été étudiée par Price et Ahearn (1988). La bactérie a été détectée dans 93 % (14/15) des échantillons d'eau de 7 bains à remous avec des concentrations allant de 10<sup>2</sup> à 10<sup>5</sup> UFC.mL<sup>-1</sup>.

Enfin, toujours aux Etats-Unis, dans l'Ohio, la présence de *P. aeruginosa* dans l'eau et sur les surfaces de trois bains à remous, un familial et deux destinés au public, a été suivie pendant 1 an. Quatorze prélèvements d'eau et 17 prélèvements de surface ont été effectués. Seule l'eau du bain à remous familial s'est révélée contaminée par *P. aeruginosa*. Par contre, les surfaces des 2 types de structure, familiale et publique, présentaient un biofilm dans lequel la bactérie était présente dans 60 % des analyses, ceci en dépit de teneurs en désinfectant conformes. De plus, 96 % des isolats étaient multi-résistants aux antibiotiques (Lutz et Lee, 2011).

Un suivi de la qualité bactériologique de l'eau de 95 bains à remous au Québec durant l'été 2008. a montré que 41 % (39/95) des bains à remous étaient contaminés par *P. aeruginosa*. Il est à noter, toutefois, que seulement 4 bassins étaient équipés de systèmes automatisés de contrôle du pH et du désinfectant (Institut National de Santé Publique du Québec, 2009).

Price et Ahearn (1988), l'OMS (2006) et l'Institut National de Santé Publique du Québec (2009) précisent que si la bactérie prolifère rapidement à la faveur d'un déficit en désinfectant, elle peut toutefois être retrouvée dans ces équipements malgré la présence de désinfectant à une concentration conforme, voire supérieure, à la législation.

En France, le suivi pendant 2 semaines (22 prélèvements d'eau) d'un bain à remous d'un centre de remise en forme a révélé la présence de *P. aeruginosa* dans 27 % des échantillons. Si l'entretien et l'hygiène de l'établissement étaient correctement assurés, la désinfection de l'eau du bassin était fluctuante (0,4 mg.L<sup>-1</sup> à 16 mg.L<sup>-1</sup> en brome avec une médiane à 2,9 mg.L<sup>-1</sup>) (Rotily et Potelon, 1991).

Cependant, mis à part ces quelques publications, il n'existe pas, à l'heure actuelle, suffisamment d'études pour permettre de définir la prévalence de *P. aeruginosa* dans les bains à remous, même s'il semble que la bactérie y soit fréquemment retrouvée (Price et Ahearn, 1988 ; OMS, 2006).

- Conclusion

*Pseudomonas aeruginosa* est une bactérie parfaitement adaptée aux milieux hydriques, même en présence d'un résiduel en désinfectant. Elle est également susceptible de survivre et de se multiplier à l'intérieur de biofilms et d'être aéroportée dans un aérosol. Son implication est rapportée lors de l'utilisation de bains à remous, la folliculite étant la pathologie majoritairement contractée (Mena et Gerba, 2009 ; Institut National de Santé du Québec, 2009).

#### 4.2.2.2 Dangers viraux

Pour mémoire, les principaux virus identifiés sont d'une part, les virus responsables de pathologies digestives (norovirus, virus de l'hépatite A, rotavirus, entérovirus, *etc.*) et d'autre part, ceux, comme certains sérotypes d'adénovirus, le virus de *Molluscum contagiosum* ou les *Papillomavirus*, à l'origine d'infections cutanées, des muqueuses ou de l'arbre respiratoire.

La recherche bibliographique n'a pas permis de mettre en évidence leur implication dans l'utilisation de bains à remous, probablement, en partie, par l'absence de recherche de l'étiologie virale lors de pathologies chez les baigneurs. De plus, le comportement des virus dans les bioaérosols n'est pas bien connu à l'heure actuelle.

- Conclusion

En raison de l'absence de données spécifiques aux bains à remous, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé à ces micro-organismes.

Toutefois, dans ces équipements, l'ingestion d'eau est peu fréquente ; le risque sanitaire lié aux virus responsables de pathologies digestives est donc limité. Les pathologies prédominantes liées à la présence de virus sont probablement les kérato-conjonctivites et les affections cutanées (verruques plantaires, etc.).

#### 4.2.2.3 Dangers liés aux levures et champignons filamenteux ou moisissures

Les principaux agents identifiés dans les rapports « Piscines » et « Baignades atypiques » (Afsset, 2009a et 2010a) peuvent être retrouvés au niveau des bains à remous. Il s'agit, d'une part, des levures (*Candida albicans*, par exemple, peut être présent aussi bien au niveau de l'eau, que sur les surfaces des équipements de l'établissement) à l'origine de mycoses superficielles cutanéomuqueuses le plus souvent sans gravité et, d'autre part, des dermatophytes (*Epidermophyton*, *Microsporum* et *Trichophyton*) qui sont à l'origine de diverses manifestations cliniques dont les mycoses cutanées et les mycoses des phanères ; les mycoses des plis interorteils étant de loin les plus souvent associées aux bains en piscine avec le fameux « pied d'athlète » (OMS, 2006). En France, *Trichophyton rubrum* est l'espèce largement dominante dans les mycoses cutanées et des phanères (75 % à 90 % des cas), viennent ensuite *Trichophyton interdigitale* (8 à 10% des cas) et plus rarement *Epidermophyton floccosum* (1 à 2 % des cas) (Moulinier, 2002). Les dermatophytes peuvent survivre sur nombre de surfaces et milieux, notamment le sable, les cabines de douche, le sol des piscines et l'eau (Agence de Santé Publique du Canada, 2010). Selon l'espèce, ils peuvent survivre jusqu'à 20 mois sur les squames de peau à température ambiante (Dvorak *et al.*, 1968).

Les spores de moisissures et/ou certaines molécules fongiques (constituants de la paroi cellulaire, mycotoxines, etc.) peuvent également être à l'origine de pathologies respiratoires dans les bains à remous, par génération d'aérosols contaminés. Ces affections comprennent la fièvre des humidificateurs (causée par les endotoxines des bactéries Gram négatif et les  $\beta$ -D-glucanes des parois cellulaires des moisissures), les pneumopathies d'hypersensibilité ou encore certaines formes d'asthmes (INRS, 2008).

Les moisissures peuvent également se développer dans l'enceinte de l'établissement et être présentes dans l'air, les systèmes d'aération, sur les murs et les plafonds. Ce développement est favorisé en raison du taux d'humidité et du manque d'aération. Ces agents microbiens sont représentés par trois genres pathogènes principaux : *Aspergillus* (*A. fumigatus* est à l'origine de plus de 80 % des aspergilloses humaines), *Cladosporium* (en Europe, deux espèces sont communément isolées : *C. herbarum* et *C. sphaerospermum*) et *Penicillium* (*P. chrysogenum* est l'espèce prépondérante en pathologie humaine). Ils peuvent libérer dans l'air des spores en grande quantité et/ou des substances chimiques irritantes (mycotoxines, composés organiques volatils, etc) et entraîner des réactions allergiques respiratoires (InVS, 2005).

Les enfants en bas âge, les personnes fragilisées, les sujets prédisposés et le personnel présent de longues heures dans cet environnement sont des catégories à risque (InVS, 2005). Chez les sujets immuno-déprimés, ces pathologies (aspergilloses invasives, etc.) peuvent s'avérer graves (Medoff *et al.*, 1999 ; Medoff et Kobayashi, 1999).

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la voie de transmission des mycoses, telles les candidoses et les infections à dermatophytes se fait majoritairement par voie cutanée, par contact direct (transmission interhumaine) ou indirect par l'eau des baignades ou les surfaces contaminées, afférentes à la zone de bain (sols, plages, vestiaires). Il est à noter que le risque fongique peut être également lié au développement de moisissures sur des matériaux atypiques, tels le bois.

La voie aérienne est également un mode de contamination pour certaines moisissures, les spores et/ou les substances chimiques toxiques véhiculées dans l'air et inhalées pénétrant plus ou moins profondément dans l'arbre bronchique selon leur diamètre (InVS, 2005).

- Épisodes infectieux ou allergiques associés aux bains à remous

Il n'y a pas de cas de mycoses spécifiquement rapporté aux bains à remous décrit dans la littérature.

Un cas de pneumopathie d'hypersensibilité lié à la présence de spores de *Cladosporium* dans la pièce contenant un bain à remous a été rapporté (Jacobs *et al.*, 1986) mais de façon isolée. La fréquence des pneumopathies d'hypersensibilité liée à la présence de spores et/ou de substances chimiques toxiques produites par les moisissures associées aux bains à remous n'est pas connue ni estimée.

- Occurrence dans les bains à remous

En France, le suivi pendant 2 semaines (22 prélèvements d'eau) d'un bain à remous d'un centre de remise en forme a révélé la présence de *C. parapsilosis* et *T. mentagrophytes*, dans 18 % des échantillons. L'entretien et l'hygiène de l'établissement étaient correctement effectués, mais la désinfection de l'eau du bassin était défectueuse (0,4 mg.L<sup>-1</sup> à 16 mg.L<sup>-1</sup> en brome avec une médiane à 2,9 mg.L<sup>-1</sup>) (Rotily et Potelon, 1991).

- Données sur l'infectiosité

Le grand nombre d'espèces fongiques présentes dans les environnements intérieurs, la grande variabilité inter-individuelle de la réponse à l'exposition aux moisissures ou aux levures, l'absence de données précises sur le temps durant lequel les molécules synthétisées conservent leur toxicité empêchent la détermination de valeurs guides d'exposition (Agence de la Santé Publique du Canada, 2010).

- Conclusion

En raison de l'absence de données spécifiques aux établissements de natation, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé à ces micro-organismes. Toutefois, le risque principal pour les moisissures apparaît être le « pied d'athlète ». Il faut cependant noter que les réactions allergiques associées à l'exposition aux moisissures sont rarement recherchées chez les baigneurs

#### 4.2.2.4 Dangers liés aux protozoaires

##### **Les protozoaires d'origine fécale**

Des gastro-entérites dues à *Giardia duodenalis* ou *Cryptosporidium spp.* sont fréquemment décrites comme liées aux baignades et activités récréatives dans les eaux de loisir (notamment aux USA). Ces protozoaires ont déjà fait l'objet d'une description dans les rapports « Piscines » et « Baignades atypiques » (Afsset, 2009a et 2010a). La grande contagiosité de l'infection et la longue persistance des pathogènes dans l'eau de même que leur résistance aux principaux désinfectants chimiques expliquent la fréquence de ces infections. Les infections relatives à la fréquentation des piscines atypiques ne sont pas toujours rapportées car les troubles digestifs peuvent survenir plusieurs jours (3 à 25 jours, moyenne 7 à 10 jours) après le bain et ne pas être reliées à cette activité.

Il existe une méthode normalisée pour rechercher et dénombrer les kystes de *Giardia* et les oocystes de *Cryptosporidium* dans les eaux (norme AFNOR NF T 90-455) mais elle nécessite la concentration par filtration sur cartouche de grands volumes d'eau (200 L) et a un rendement faible de l'ordre de 40%.

- Mode de contamination

L'origine de l'exposition est fécale à partir de sujets excréant des kystes/oocystes directement infectieux. La contamination se fait essentiellement par voie digestive (ingestion d'eau contaminée lors du bain).

Viriot *et al.* (2010) rapportent des cas groupés de giardiose chez 19 personnes (passagers et personnel d'équipage) ayant effectué une croisière fluviale dans le sud de la France (taux d'attaque de 70 %). Les résultats des investigations épidémiologiques ont orienté vers une contamination probable par baignade dans le bain à remous du navire et une transmission interhumaine à partir de sujets porteurs du parasite. Ces cas groupés illustrent le risque potentiel de cette activité dans les infections à protozoaires.

- Conclusion

En raison de leur grande résistance au chlore, leur survie dans l'eau et les faibles doses infectieuses par ingestion, les kystes de *Giardia duodenalis* et les oocystes de *Cryptosporidium* sp peuvent représenter un danger sanitaire. Toutefois, dans les bains à remous, l'ingestion d'eau est peu fréquente. De plus, la mise en place d'une coagulation avant l'étape de filtration permet de réduire le risque lié à *Giardia duodenalis* et à *Cryptosporidium* sp (Yoder *et al.*, 2008).

### Les protozoaires d'origine environnementale

Les amibes dites libres, car non parasitaires, sont présentes dans tous les types d'eau à des concentrations qui peuvent être élevées. Un certain nombre de cas d'infections dues à ces agents microbiens sont rapportés comme liés aux activités de baignades (piscines réglementées ou atypiques). Deux genres majoritaires, *Acanthamoeba* et *Naegleria* sont cités (Heggie, 2010). Du fait de la possibilité de formation de biofilms dans les bains à remous, les amibes libres peuvent également se multiplier dans ces structures.

Les *Acanthamoeba* sont assez peu thermotolérantes et seule l'espèce *A. culbertosini* survit à 37 °C. Pour cette raison, elles sont très rarement à l'origine d'une pathologie viscérale profonde (méningo-encéphalites *etc.*). Elles sont responsables essentiellement de kératites (la température moyenne de la cornée étant voisine de 23 °C), en particulier chez des porteurs de lentilles de contact (Moulinier, 2002 ; OMS, 2006).

Le pouvoir pathogène de *Naegleria fowleri* a été démontré. Cette amibe thermotolérante survit jusqu'à 42 °C (Moulinier, 2002). Elle provoque une méningo-encéphalite amibienne primitive presque toujours fatale. La contamination intervient après baignade en piscines, lacs, rivières *etc.* (OMS, 2005).

Il n'existe pas à l'heure actuelle de techniques standardisées pour la recherche des amibes libres.

Compte tenu de la relation possible entre "légionelles" et "amibes" ou « MNT » et « amibes », certains genres d'amibes libres, telles *Acanthamoeba*, *Naegleria*, *Hartmanella*, constituent un danger indirect de prolifération de ces agents pathogènes opportunistes. Dans le cas des légionelles, les amibes libres jouent un rôle d'amplificateur et de vecteur. Les amibes libres phagocytent les légionelles qui ne vont pas être détruits dans le phagosome mais, au contraire, se multiplier. Les amibes étant adaptées à des conditions environnementales hostiles offrent aux légionelles un lieu de survie et de croissance favorables (Greub et Raoult, 2004).



- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la voie de transmission des kératites se fait par voie cutanée par contact direct avec de l'eau contenant des amibes pathogènes. Le port de lentille de contact est un facteur de risque aggravant dans les complications cornéennes. Les lentilles contaminées vont non seulement permettre un contact prolongé entre la cornée et les amibes mais également favoriser l'infection car elles modifient les mécanismes de défense de l'œil et provoquent des micro-excoriations (ou micro-blessures).

La contamination à *N. fowleri* s'effectue par inhalation d'une eau contaminée au cours de baignades ou par exposition à un aérosol.

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

Seules des kératites ont été associées avec les bains à remous (Samples *et al.*, 1984).

- Occurrence des amibes libres dans les bains à remous

Peu de données sont disponibles dans la littérature. Seules trois publications rapportent la présence, dans un bain à remous, de *Naegleria* en Italie (Scaglia *et al.*, 1983) et d'*Acanthamoeba* en France et en Suisse (Rotily et Potelon, 1991 ; Gianinazzi *et al.*, 2010).

- Conclusion

Le risque associé à *N. fowleri* peut être limité par une maintenance optimale des installations (coagulation et filtration de l'eau, maintien d'une chloration suffisante en permanence, nettoyage et brossage fréquent du fond et des parois du bassin) (OMS, 2006 ; Jaffar-Bandjee *et al.*, 2005).

Le risque de contracter une kératite due à *Acanthamoeba* est surtout corrélé au port de lentilles de contact lors de la baignade. La grande résistance au chlore de la forme kystique ne permet pas d'inactiver l'amibe dans l'eau de bains à remous. La kératite amibienne apparaît donc comme le risque principal lié à ces micro-organismes.

#### 4.2.2.5 Points à retenir

Dans les bains à remous, les usagers gardent, en général, la tête hors de l'eau. L'ingestion d'eau est donc accidentelle. Ainsi, pour les micro-organismes, tels *E. coli*, *Cryptosporidium* sp ou encore les virus entériques, où la transmission se fait principalement par ingestion, le risque de contamination apparaît plus faible que dans les piscines traditionnelles.

En revanche, les bains à remous présentent certaines spécificités (température élevée de l'eau, dispositifs de bullage, concentration fluctuante en désinfectant, promiscuité inter-baigneurs, *etc.*) qui sont à l'origine de dangers microbiens particuliers.

Les micro-organismes pathogènes d'intérêt dans le cas des bains à remous sont :

- ▶ les staphylocoques pathogènes (*S. aureus*), non évoqués dans ce chapitre car le risque est semblable à celui décrit dans les piscines traditionnelles. La promiscuité inter-baigneurs rencontrée dans les bains à remous et le contact de la peau avec les surfaces du bassin rendent la transmission interhumaine (de porteurs sains à non porteurs) de souches de *S. aureus* très probable. Toutefois, le risque sanitaire associé à *S. aureus* peut être limité par un entretien optimal des locaux, par un respect des bonnes pratiques d'hygiène par les baigneurs et par une bonne maintenance du bain à remous (une reprise en surface et recyclage de l'eau efficace, chloration de l'eau correcte) ;
- ▶ *Legionella* et principalement *Legionella pneumophila* parfaitement adaptées aux conditions présentes dans les bains à remous (température, biofilm, *etc.*). Elles sont, de plus, capables d'être hébergées au sein d'amibes et peuvent être aéroportées à l'intérieur d'aérosols. Leur implication dans des pathologies (fièvre de Pontiac et maladie des légionnaires), lors de l'utilisation de bains à remous, est largement rapportée ;

- ▶ *Pseudomonas aeruginosa*, bactérie hydrotellurique qui peut être détectée dans l'eau des bassins même lorsque la teneur en désinfectant est correcte. Lors de l'utilisation de bains à remous, la folliculite est la pathologie majoritairement contractée ;
- ▶ les mycobactéries non tuberculeuses (MNT) bactéries adaptées aux milieux hydriques et résistantes aux concentrations en chlore appliquées dans les bains à remous. Elles sont, de surcroît, capables de survivre et de se multiplier dans les amibes. Elles peuvent être également aéroportées à l'intérieur d'aérosols. Les pneumopathies liées à la fréquentation de bains à remous, sont de plus en plus souvent décrites ;
- ▶ *Acanthamoeba*, sous leur forme kystique, non inactivée par les teneurs en chlore de l'eau des bains à remous. Le risque de contracter une kératite amibienne par contact avec de l'eau contaminée pour les porteurs de lentilles de contact doit être pris en compte.

En raison de l'absence de données spécifiques aux bains à remous, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé aux virus responsables des kérato-conjonctivites et des affections cutanées. De même, il n'est pas possible de se prononcer sur le risque sanitaire lié aux moisissures et à l'origine d'infections cutanées, d'infections des phanères et de réactions allergiques.

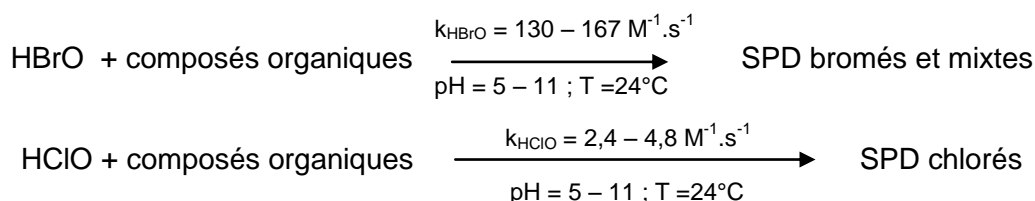
### 4.3 Description des dangers présents dans les bains à remous alimentés par l'eau de mer.

L'eau de mer présente une minéralisation importante notamment en ions bromure et en ions iode (majoritairement sous forme iodates). La concentration de ces éléments est beaucoup plus élevée que dans les ressources utilisées pour l'EDCH (de l'ordre de 65 mg.L<sup>-1</sup> en bromures et de l'ordre de 60 µg.L<sup>-1</sup>, majoritairement sous forme iodates dans l'eau de mer). Les sous-produits générés par la chloration de l'eau de mer sont les mêmes que ceux évoqués dans la partie précédente relative à l'EDCH. Toutefois, la présence d'ions bromure et d'ions iodure va orienter la production de sous-produits issus de la chloration de ce type d'eau vers la production de composés bromés, iodés et mixtes (bromés/iodés et chlorés/iodés) (Figure 17) (Agus *et al.*, 2009 ; Uyak et Toroz, 2007 ; Heller-Grossman *et al.*, 1993 ; Allonier *et al.*, 1999 a et b ; Fabbricino et Korshin, 2009). L'eau de mer contient, par ailleurs, une grande variété de micro-organismes à des concentrations plus élevées que dans l'EDCH. Ces micro-organismes peuvent être autochtones ou être la conséquence d'une pollution d'origine animale et/ou humaine.

#### 4.3.1 Dangers liés aux sous-produits de désinfection

##### 4.3.1.1 Sous-produits de chloration

En présence de chlore (sous forme HClO), les bromures sont rapidement et totalement oxydés en acide hypobromeux (HBrO). La cinétique de réaction entre HBrO et la matière organique naturelle est environ 30 fois plus rapide que celle entre les composés organiques et HClO (Judd et Jeffrey, 1995 ; Jenner *et al.*, 1997 ; Wang *et al.*, 2010 ; Zhang *et al.*, 2010).



Cette cinétique de réaction n'implique pas la production de sous-produits en plus grande quantité mais uniquement une répartition différente des sous-produits formés. Ainsi, si l'on considère les

THM et AHA, les valeurs mesurées dans les établissements alimentés en EDCH ou mesurées dans les établissements alimentés en eau de mer sont du même ordre de grandeur, mais avec une proportion de sous-produits bromés supérieure à celle des sous-produits chlorés (Parinet *et al.*, 2012). La figure 17 illustre les différentes voies de formation de sous-produits bromés et chlorés lors de la chloration d'une eau (EDCH et eau de mer) en présence d'ammonium (composé illustrant l'apport de composés azotés par les baigneurs).

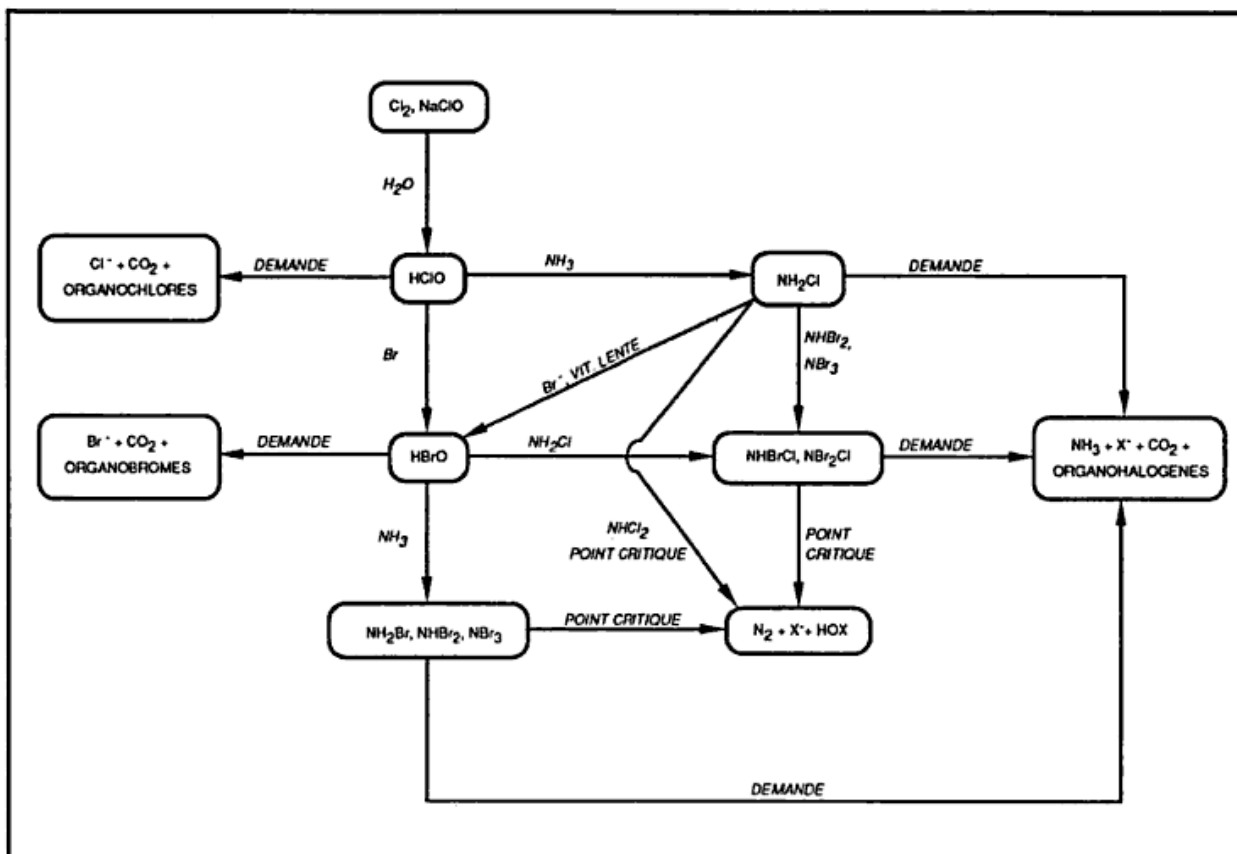


Figure 17 : Chimie de la chloration de l'eau de mer.

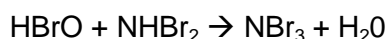
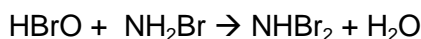
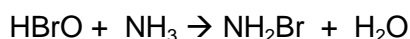
(Source : Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, 1993)

Ce chapitre s'attache donc plus particulièrement à présenter les composés pouvant résulter de l'interaction du chlore et des composés organiques apportés par les baigneurs avec les ions bromures et iodures.

### Bromamines

L'acide hypobromeux au contact des composés organiques azotés (majoritairement des amines primaires) apportés par les baigneurs, va former des bromamines (Carr *et al.*, 1998).

De manière similaire aux chloramines, il existe trois espèces de bromamines : la monobromamine (NH<sub>2</sub>Br), la dibromamine (NHBr<sub>2</sub>) et la tribromamine (NBr<sub>3</sub>), qui se forment suivant une réaction en chaîne :



La formation de la monobromamine se produit majoritairement avec les ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) plutôt qu'avec les autres amines primaires (Hofmann et Andrews, 2001), et lorsque le ratio  $\text{Br}/\text{N} > 1,5$  et que le pH est inférieur à 7,5, la di- et la tribromamine sont majoritaires. De plus, la formation d'un composé mixte chloré et bromé, la bromochloramine ( $\text{NHBrCl}$ ) est possible (Bougeard *et al.*, 2010).

La chloration en continu limite la formation des bromamines car des réactions compétitives entre le chlore ajouté comme désinfectant, les ions ammonium apportés par les baigneurs (ou apportés par certains produits de traitement des piscines) et les ions bromures sont possibles. En effet le chlore peut oxyder les ions  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{N}_2$ , voire en ions  $\text{NO}_3^-$  (White, 1992).

Les bromamines présentent des caractéristiques physico-chimiques communes avec les chloramines : la mono et la dibromamine sont solubles dans l'eau tandis que la tribromamine est aussi volatile que la trichloramine (Holzwarth *et al.*, 1984).

Les bromamines sont moins irritantes pour les yeux ou la peau que les chloramines (Flahaut, 1977). La tribromamine est un irritant pulmonaire (Massin *et al.*, 1998).

La revue de la bibliographie n'a pas permis de mettre en évidence de publications relatives à la présence de bromamines dans les piscines ou des bains à remous alimentées en eau de mer.

#### *Trihalométhanes*

Plusieurs études ont mis en évidence la présence de THM suite à la chloration de l'eau de mer au sein de centrales thermiques ou nucléaires et lors du traitement de l'EDCH issue de ressources en eau riche en bromures<sup>13</sup> (dessalement de l'eau de mer, eaux superficielles) (Adamantia *et al.*, 2002 ; Agus *et al.*, 2009 ; Agus et Sedlak, 2010 ; Allonier *et al.*, 1999a ; 1999b, 2000 ; Jenner *et al.*, 1997). La distribution des THM est différente de celle retrouvée dans l'EDCH. Dans toutes ces études, la chloration de ce type d'eau aboutit à la formation de THM bromés dont le bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ) est le produit majoritaire (plus de 80 % des THM totaux).

Une étude menée dans des centres de thalassothérapie (Afsset, 2009c) confirme cette répartition. Le bromoforme est ainsi le composé majoritaire avec des concentrations variant entre 29 et 930  $\mu\text{g.L}^{-1}$  au sein des huit bassins étudiés (médiane de 272,1  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Dans tous les cas, le bromoforme représente entre 89 et 95 % de la somme des THM (médiane 94,1 %). Le second composé majoritairement retrouvé dans ces bassins (entre 4 et 9 % de la somme totale des THM) est le dibromochlorométhane ( $\text{CHClBr}_2$ ) avec une valeur médiane retrouvée de 14,85  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (valeur maximale : 63,58  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Enfin, les composés chlorés (dichlorobromoéthane et chloroforme) ne représentent qu'entre 0,02 et 1,5 % de la somme totale des THM (concentrations inférieures à 1,3  $\mu\text{g.L}^{-1}$  pour ces deux composés dans l'ensemble des bassins à l'étude).

La température élevée de l'eau dans les bains à remous, son agitation et les tensions de vapeur relativement élevées de ces composés du bromoforme et du chlorodibromométhane vont favoriser la volatilisation de ces molécules.

A cet égard, une étude a montré que le bromoforme est également le produit majoritairement retrouvé dans l'air des bassins alimentés en eau de mer avec des teneurs médianes journalières de 1,53  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (maximum de 1100  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) et représentait entre 40 et 98 % de la somme des THM retrouvés dans l'air (Afsset, 2009c). Le chlorodibromométhane est le second composé majoritairement retrouvé avec des teneurs médianes journalières de 0,15  $\mu\text{g.m}^{-3}$  (maximum de 23  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) et représente entre 2 et 27 % de la somme totale des THM. Il est à noter que contrairement aux valeurs retrouvées dans l'eau, de fortes fluctuations ont été observées entre les concentrations retrouvées le matin et celles du soir, avec des teneurs médianes le matin de

---

<sup>13</sup> une eau riche en bromures est une eau qui contient plus de 100  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de bromures.

0,9  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de bromoforme (maximum : 98,2  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) et de 0,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de chlorodibromométhane (maximum : 6,6  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Ces variations dans la journée semblent traduire des pratiques en termes d'aération des installations qui diffèrent le long de la journée (ventilation mécanique ou manuelle importante le matin lors des nettoyages des abords des bassins et en l'absence d'usagers).

La présence des sous-produits bromés peut conduire à un risque pour la santé des baigneurs et du personnel puisque de nombreuses études montrent que les composés bromés sont plus néfastes pour la santé que leurs homologues chlorés (Hsu *et al.*, 2001 ; Lee *et al.*, 2009 ; Erdinger *et al.*, 2004), de part un caractère génotoxique et mutagène plus important (Kogevinas *et al.*, 2010).

Des auteurs (Pegram *et al.*, 1997 et DeMarini *et al.*, 1997) ont ainsi montré que les THM pouvaient être classés en fonction de leur mutagénicité relative : bromoforme = dibromochlorométhane > bromodichlorométhane. Les THM bromés semblent être plus cancérigènes que leurs homologues chlorés (Cantor *et al.*, 2010). Le bromoforme et le chlorodibromométhane ont été classés comme cancérigène probable pour l'homme par l'US EPA (IRIS, 1999 ; ATSDR, 2005 ; Richardson *et al.*, 2007).

### Acide bromoacétique

La chloration d'eau de mer peut également induire la formation d'acides bromoacétiques comme cela a été mis en évidence dans de nombreuses études traitant du dessalement de l'eau de mer, de la chloration d'eau de mer utilisée pour le refroidissement de centrales nucléaires ou de la chloration d'eaux superficielles riches en bromures (Adamantia et Euripides, 2002 ; Allonier *et al.*, 1999 ; Li *et al.*, 2008 ; Fabbicino et Korshin, 2009 ; Sun *et al.*, 2009). Dans toutes ces études, l'acide dibromoacétique (DBAA) est l'acide haloacétique majoritaire. Les autres acides retrouvés sont l'acide monobromoacétique (MBAA), l'acide tribromoacétique (TBAA), l'acide bromochloroacétique (BCAA), l'acide bromodichloroacétique (BDCAA) et l'acide chlorobromoacétique (CDBAA).

Les résultats de l'étude menée dans des bassins alimentés par de l'eau de mer montrent que ce sont les acides dibromoacétique, chlorodibromoacétique, tribromoacétique et monobromoacétique qui sont les plus retrouvés, avec des teneurs totales pour ces 4 composés comprises entre 70  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  et plus de 1800  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , suivant les bassins des établissements à l'étude (Afsset, 2009 c). Individuellement, les teneurs médianes en DBAA étaient de 147  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (maximum : 1090  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), celles en TBAA de 98  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (maximum : 428  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), celles en CDBAA étaient de 77  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (maximum : 243  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) et celles en MBAA de 27  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (maximum : 155  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

Dans cette étude, les acides chloroacétiques représentaient en moyenne moins de 2 % des teneurs totales en acides haloacétiques.

Les acides bromoacétiques sont moins étudiés en termes de cancérogénéicité et mutagénicité que leurs homologues chlorés. Quelques études montrent que le DBAA est mutagène (souche TA100 de *Salmonella typhimurium* avec ou sans activation S9) chez le rat et sur le foie de hamster et qu'il y a soupçon d'activité cancérigène chez les rats mâles (augmentation de l'incidence de mésothélium malin (Plewa *et al.*, 2002, 2010 ; Melnick *et al.*, 2007). Quelques études montrent que le MBAA serait faiblement mutagène et des études utilisant le test d'Ames ont comparé les effets mutagènes des différents acides haloacétiques : le MBAA serait plus mutagène que le DBAA (Kargalioglu *et al.*, 2002). Une étude récente a comparé la cytotoxicité chronique et le potentiel de dommage aiguë de l'ADN de 12 acides haloacétiques sur des cellules mammaliennes et a classé ces composés par ordre de cytotoxicité et par ordre de génotoxicité dans des cellules ovariennes de hamster chinois. Par ordre décroissant, les composés les plus cytotoxiques étaient : MBAA > TBAA > CDBAA > DBAA > BDCAA > BCAA > MCAA > TCAA > DCAA et par ordre décroissant de génotoxicité MBAA > MCAA > DBAA > TBAA > BCAA > CDBAA (Plewa *et al.*, 2010).

A l'heure actuelle, il n'existe aucune étude menée dans l'air et/ou dans les aérosols concernant ces composés. Les seuls risques avérés à ce jour ne concernent que les expositions par contact cutanéomuqueux.

#### *Bromoacétonitriles*

La formation de bromoacétonitriles a été mise en évidence lors de la chloration de l'eau de mer dans plusieurs études (Allonier *et al.*, 1999 ; Heller-Grossman *et al.*, 1999 ; Jenner *et al.*, 1997).

Les composés majoritairement retrouvés dans ces études sont le dibromoacétonitrile et le bromoacétonitrile, à des teneurs comprises entre 0,3 et 3,4  $\mu\text{g.L}^{-1}$  pour des doses de chlore ( $\text{Cl}_2$ ) allant jusqu'à 6  $\text{mg.L}^{-1}$  et représentent en moyenne 10 % des sous-produits de désinfection retrouvés dans une eau de mer chlorée (Kristiansen *et al.*, 1994 ; Agus *et al.*, 2010).

La recherche bibliographique n'a pas mis en évidence d'étude menée dans des piscines ou des bains à remous alimentés en eau de mer recherchant ces composés. Il semble néanmoins fortement probable que ces composés soient présents puisque la combinaison chlore/bromures/composés azotés et température relativement élevée sont les facteurs qui permettent de produire ces composés (Ueno *et al.*, 1996 ; Peters *et al.*, 1990).

De part la toxicité induite par ces composés, il semblerait important de mener des études dans la recherche de ces composés dans les établissements alimentés en eau de mer afin d'évaluer les niveaux d'exposition à ces composés.

#### *Hydrate de bromal*

Une étude a montré la présence d'hydrate de bromal dans un bassin de natation alimenté par de l'eau de mer (230  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (Baudish *et al.*, 1997).

Ce composé est très soluble dans l'eau et ne présente donc pas de risque lié à son inhalation (Karcher et Devillers, 1990). On ne peut néanmoins pas exclure sa présence dans les aérosols.

L'hydrate de bromal serait plus toxique que son homologue l'hydrate de chloral (Butler, 1948 ; Flahaut, 1977). Une étude de toxicité de l'hydrate de bromal menée chez le rat montre que la dose létale est de 40  $\text{mg.kg}^{-1}$  par ingestion et de 30  $\text{mg.kg}^{-1}$  par voie intraveineuse (Lehman et Knoffel, 1938). Des doses inférieures provoqueraient des dyspnées.

#### *N- nitrosodiméthylamine*

Aucune mesure de la NDMA dans l'eau de mer n'a été mise en évidence lors de la recherche bibliographique. Cependant, ce composé pourrait être formé lors de la chloration de l'eau de mer. En effet, Luo (2005) a montré que les ions bromures accélèrent la formation de la NDMA lors de la chloration de l'eau. La formation de ce composé est également favorisée lorsque le pH augmente.

#### *Bromure de cyanogène*

Le bromure de cyanogène (CNBr) peut se former lors de la chloration d'eau de mer (étude menée dans le cadre du désalement de l'eau de mer). Sa toxicité est voisine de celle du chlorure de cyanogène (Heller-Grossman, 2001).

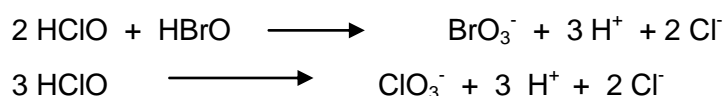
Le bromure de cyanogène a déjà été mesuré dans des piscines et bains à remous alimentés par de l'eau du réseau à des concentrations variant entre 0, 0001  $\text{mg.L}^{-1}$  et 0,01  $\text{mg.L}^{-1}$  (Weaver *et al.*, 2009). Il est donc fortement probable que ce composé soit également présent dans des établissements alimentés par de l'eau de mer, et en concentration plus élevée (de par la présence naturelle de bromure dans cette ressource en eau).

Le bromure de cyanogène est un composé très volatil, très toxique par contact, ingestion et inhalation, et irritant pour la peau et les yeux. Il constitue donc un danger potentiel pour les personnes fréquentant les bains à remous.

Aucune donnée n'est disponible quant à son occurrence dans les établissements alimentés en eau de mer et *a fortiori* dans les bains à remous alimentés par cette ressource en eau.

#### *Bromates et chlorates*

Il a été montré que des ions bromates ( $\text{BrO}_3^-$ ) et chlorates ( $\text{ClO}_3^-$ ) pouvaient se former lors de la chloration d'eau de mer en présence de rayonnements solaires, mais uniquement lors des traitements de dessalement d'eau de mer (Macalady *et al.*, 1977 ; Wong, 1979). Haag (1981) a montré également que cette formation de bromates et de chlorates se produisait en présence de lumière et lors de la chloration d'eau de mer lorsque le ratio  $\text{Cl}_2/\text{Br}$  était supérieur à 1, tout en relevant que la présence simultanée de  $\text{ClO}^-$  et de  $\text{BrO}^-$  était un facteur accélérant les processus de formation des bromates. Huang *et al.* (2008), qui ont étudié ces réactions dans le domaine des eaux potables, proposent les mécanismes suivants :



Ces auteurs notent également qu'il existe des réactions compétitives entre l'acide hypobromeux et les composés organiques présents dans l'eau qui peuvent donc limiter la formation de bromates.

Toutefois, la voie d'exposition majeure aux ions bromate et chlorate dans les eaux des bains à remous est l'ingestion, voie d'exposition non prépondérante pour les usagers des bains à remous.

#### *Produits iodés*

Les SPD iodés sont également à considérer dans les bains à remous alimentés par de l'eau de mer traité avec du chlore.

L'acide hypoiodeux (HOI), résultant de la réaction entre le chlore et les ions iodures, est aussi réactif que l'acide hypobromeux (Allard, 2008). Il peut réagir avec les composés organiques environnants et former majoritairement de l'iodoforme ( $\text{CHI}_3$ ) et du chlorodiiodométhane (Hua et Reckhow, 2007). Le dichloroiodométhane ( $\text{CHCl}_2$ ), le bromochloroiodométhane ( $\text{CHBrClI}$ ), le dibromoiodométhane ( $\text{CHBr}_2\text{I}$ ), le chlorodiiodométhane ( $\text{CHClI}_2$ ), le bromodiiodométhane ( $\text{CHBrI}_2$ ) ont également été mis en évidence (Shi et Adams, 2009 ; Smith *et al.*, 2010, El Din *et al.*, 1991 ; Kristiansen *et al.*, 1994 ; Fabbricino et Korshin, 2005). La littérature relève également la présence d'acides iodoacétiques : acide (E)-3-bromo-3-iodopropénoïque, acide bromoiodoacétique, acide (Z) 3-bromo-3-iodopropénoïque, acide (E)-2-iodo-3-méthylbutène-2-iodoïque (Krasner *et al.*, 2006).

Toutefois, si le chlore est en excès, les iodures sont oxydés en ions iodates ( $\text{IO}_3^-$ ) la formation de sous-produits iodés est ralentie (Allard, 2008 ; Bichsel et Von Gunten, 1999 et 2000 ; Kristiana *et al.*, 2009).

La présence d'ions ammonium dans l'eau stabiliserait la forme HOI au détriment de  $\text{IO}_3^-$ , induisant une production accrue en composés organiques iodés (Hansson *et al.*, 1987 ; Karpel Vel Leitner, *et al.* 1998 ; Bichsel et Von Gunten, 1999).

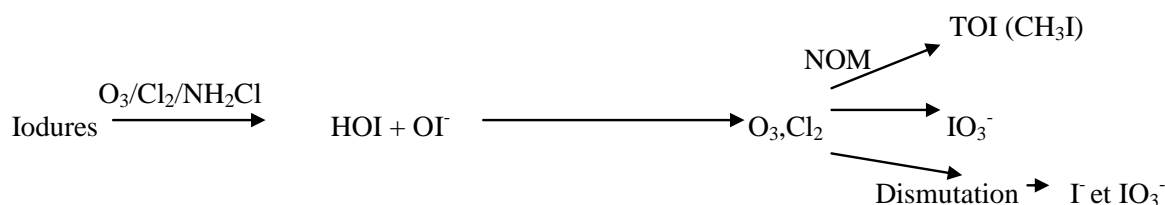
En l'absence d'étude menée dans les bains à remous alimentés en eau de mer, il n'est actuellement pas possible d'estimer les niveaux d'exposition aux THM iodés.

Les THM iodés seraient plus cytotoxiques et génotoxiques que leurs analogues bromés (Li *et al.*, 2002 ; Plewa *et al.*, 2004). Il a été montré que les sous-produits iodés s'avèraient environ 100 fois

plus toxiques lors des essais sur des cellules de hamster chinois de lignées CHO<sup>14</sup> que les sous-produits chlorés (Smith *et al.*, 2010 ; Bougeard *et al.*, 2010).

Les acides iodoacétiques seraient plus toxiques que leurs analogues chlorés ou bromés (Richardson *et al.*, 2007 ; Cemeli *et al.*, 2006 ; Plewa *et al.*, 2004).

Un schéma général de formation de composés iodés a été proposé par Allard (2008) :



**Figure 18 : Schéma réactionnel de formation de sous-produits iodés**

La revue bibliographique n'a pas répertorié d'études mettant en évidence la présence de tels composés dans les eaux de piscine ni dans les bains à remous.

#### 4.3.1.2 Sous-produits d'ozonation

Les mêmes sous-produits d'ozonation que ceux décrits dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) peuvent être formés dans l'eau de mer. Cependant, l'ozonation de l'eau de mer va conduire à la formation d'ions bromates à des concentrations plus importantes que dans l'EDCH compte tenu de la concentration élevée en ions bromures.

#### 4.3.2 Autres dangers chimiques : résidus pétroliers

Les zones côtières peuvent être contaminées par des résidus pétroliers. Ces résidus ne sont pas éliminés par les filières de traitement mises en place dans les piscines et la présence d'hydrocarbures aromatiques dans l'eau peut donc entraîner, lors de la chloration, la formation de dérivés halogénés tels que le bromotriméthylbenzène, le dibromométhylbenzène, le bromonaphtalène, le dibromonaphtalène (Abarnou, 1982). Ce constat vaut aussi pour les bains à remous.

Afin de limiter les risques liés à l'arrivée de résidus pétroliers au sein des établissements utilisant de l'eau de mer, une attention particulière devra être apportée au positionnement et à la protection du captage.

#### 4.3.3 Dangers microbiologiques

Le risque sanitaire lié à la présence de micro-organismes pathogènes ou opportunistes dans l'eau de mer dépend de multiples facteurs et, notamment, de la quantité de germes présents et de leur capacité de survie dans le milieu. Ainsi, compte tenu de la salinité élevée de l'eau de mer, certains micro-organismes, comme les légionelles, semblent mal supporter ce type de milieu alors que les staphylocoques, les *Vibrio* ou encore les *Pseudomonas* sont connus pour survivre et/ou se multiplier dans l'eau de mer. D'autres paramètres ont un impact sur la survie des micro-organismes dans l'eau de mer : la température, le rayonnement UV du soleil, la

<sup>14</sup> Lignées cellulaires reconnues pour mener les tests *in vitro* de mutation génique induit par des produits chimiques (Test OCDE n°476, juillet 1997).



charge organique, le pH ou la présence de nutriments ou de produits inhibiteurs. Par ailleurs, la proximité d'un rejet contaminé par des eaux contaminées (eaux pluviales, STEP, etc.) proche de la prise d'eau d'alimentation du bassin, peut engendrer une présence accrue de micro-organismes pathogènes dont les virus entériques, *E. coli*, ou *Salmonella* (Gerba et Goyal, 1988 ; Birch et Gust, 1989 ; Henrickson *et al.*, 2001).

La majorité des souches isolées appartiennent aux genres *Pseudomonas* et apparentés, *Vibrio* et *Flavobacterium*. Toutefois, d'autres bactéries peuvent être mises en évidence comme *Aeromonas* (eau de mer de faible salinité) et les bactéries d'origine fécale (*E. coli*, entérocoques intestinaux, salmonelles, etc.). Les virus les plus souvent signalés comme étant à l'origine de maladies en eau de mer sont le virus de l'hépatite A et les entérovirus (Stolp, 1998). Il est à noter que des virus émergents apparaissent tels les norovirus. Des protozoaires et certaines amibes, adaptées aux conditions salines, peuvent être également présents (Boutin *et al.*, 1992).

Contrairement à l'EDCH et à l'EMN, qui, par définition doivent être exemptes de germes pathogènes, l'eau de mer « brute » à l'entrée de l'établissement peut être plus ou moins contaminée sur le plan microbiologique.

Le traitement de désinfection doit donc être conçu pour assurer une double fonction : d'abord réduire autant que possible la contamination microbiologique apportée par l'eau de mer lors du remplissage quotidien du bassin, puis traiter celle apportée par les baigneurs. A cet effet, un bassin tampon paraît nécessaire pour garantir un CT suffisant. La prise d'eau devra être installée dans une zone connue pour sa bonne qualité microbiologique.

Les durées de survie des micro-organismes cités dans ce rapport sont données à titre informatif. Elles sont dépendantes des conditions expérimentales et ne reflètent que partiellement le comportement des micro-organismes dans l'environnement, de même que les concentrations en brome nécessaires pour leur inactivation.

Dans l'eau de mer, le chlore réagit avec les bromures et produit du brome, l'acide hypobromeux devient alors le désinfectant actif dans les bassins alimentés par ce type d'eau. La revue bibliographique est limitée concernant la sensibilité des micro-organismes vis-à-vis du brome car ce procédé de désinfection n'est pas utilisé pour le traitement de l'eau destinée à la consommation humaine contrairement au chlore, au dioxyde de chlore, ou encore à l'ozone. Toutefois, l'action bactéricide et virucide dans l'eau de l'acide hypobromeux est connue (Rhodier *et al.*, 2009) et certaines données relatives à *E. coli*, *P. aeruginosa*, ou *L. pneumophila* existent (Kim *et al.*, 2002 ; Mena et Gerba, 2009 ; Koski *et al.*, 1966). Une plus grande concentration (en mg.L<sup>-1</sup>) de brome que de chlore, soit environ le double, est nécessaire pour obtenir le même pouvoir désinfectant dans les bassins et bains à remous (Institut National de Santé Publique du Québec, 2009).

#### 4.3.3.1 Dangers bactériens

##### *Escherichia coli*

*Escherichia coli* est une bactérie de la microflore digestive de l'homme et de nombreuses espèces animales. Elle est capable de survivre dans différents types d'eau mais s'élimine naturellement sous l'effet de facteurs environnementaux tels que le rayonnement UV du soleil, l'oxygène, la salinité ou les produits inhibiteurs comme les métaux lourds. Certaines souches d'*E. coli* sont pathogènes (souches entérohémorragiques EHEC par exemple) et responsables, par ingestion, d'infections intestinales (Centre Nationale de Référence des *E.coli/Shigella*, 2009).

Une étude menée en laboratoire a permis d'apprécier la survie d'*E. coli* dans l'eau de mer à 18 °C et à 8 °C. Après 8 semaines d'incubation dans l'eau de mer à l'obscurité, un abattement de la population d'*E. coli* d'environ 1 log est observé à 8°C alors qu'à 18 °C cet abaissement est de l'ordre de 2 log. En parallèle, l'effet du rayonnement UV du soleil a été évalué à 18 °C en soumettant la population d'*E. coli* à l'action des rayons UV pendant 48h (rayons UVA à 200 Wm<sup>2</sup>).

Un abattement de l'ordre de 3,5 log de la population d'*E.coli* est alors obtenu (Hernroth *et al.*, 2010).

Une teneur en brome de 1,05 mg.L<sup>-1</sup> à pH 6,1 et à température ambiante permet d'inactiver *E. coli* en moins d'une minute (abattement de l'ordre de 5 log). Une concentration en chlore de 0,6 mg.L<sup>-1</sup> permet d'observer la même réduction bactérienne au cours d'une expérience réalisée selon des modalités identiques (Koski *et al.*, 1966).

S'il existe bien une méthode normalisée par culture pour détecter et dénombrer les *E. coli* dans les eaux (norme NF T ISO 9308-1) lors des contrôles sanitaires, celle-ci permet de mettre en évidence les souches de l'environnement mais n'est pas adaptée pour détecter les souches d'origine clinique telles les souches EHEC.

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la transmission se fait essentiellement par voie digestive, par ingestion accidentelle d'eau contaminée à *E. coli*.

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

Aucune infection liée à *E. coli* due spécifiquement à la fréquentation de bains à remous alimentés par de l'eau de mer n'a été rapportée à ce jour.

- Conclusion

En raison de la sensibilité au brome d'*E. coli* et du recyclage permanent de l'eau dans les bains à remous, le risque représenté par cette bactérie est limité lorsque le traitement de l'eau du bassin est satisfaisant. Par ailleurs, *E. coli* est recherché lors du contrôle sanitaire réglementaire des eaux de baignade, avec une valeur impérative de qualité actuellement fixée dans l'eau de mer à 2000 UFC/100 mL et une valeur guide à 100 UFC/100 mL<sup>15</sup>. Le captage d'une eau de bonne qualité bactériologique (< 100 UFC/100 mL en *E. coli*) permet de mieux maîtriser le risque lié à cette bactérie. Enfin, dans les bains à remous, l'ingestion d'eau est peu fréquente, ce qui limite d'autant plus le risque sanitaire associé à *E.coli*.

### *Shigella*

Les *Shigella* sont des pathogènes, douées d'un fort pouvoir invasif au niveau du tractus intestinal humain. L'Homme constitue leur réservoir naturel. Les *Shigella* sont, en outre, des bactéries très proches de certaines souches d'*E. coli*. Leur présence dans les eaux usées puis dans les effluents de station d'épuration peut conduire à une contamination des eaux marines. Les shigelles, et plus particulièrement *S. sonnei*, sont responsables, par ingestion, d'infections intestinales plus ou moins sévères, très contagieuses (Baraduc, 2000).

En conditions de laboratoire, la survie de *S. sonnei* a été estimée dans l'eau de mer (salinité supérieure à 32 mg.L<sup>-1</sup>) pendant 40 jours : un abattement de la population de *S. sonnei* de 90% (perte d'1 log) est observé après 2 jours et demi d'incubation à 28°C (Wait et Sobsey, 2001).

Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode normalisée pour la recherche et le dénombrement des shigelles.

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la transmission est de type oro-fécale, par ingestion accidentelle d'eau contaminée par les shigelles.

---

<sup>15</sup> La [directive européenne](#) 2006/7/CE relative à la qualité des eaux de baignade remplacera à partir de décembre 2013, l'ensemble des dispositions prévues par la réglementation en vigueur. La valeur de qualité pour *E. coli* pour l'eau de mer sera fixée à 500 UFC/100 mL et la valeur guide à 250 UFC/100 mL.

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

Aucune infection liée à *Shigella* et due spécifiquement à la fréquentation de bains à remous alimentés en eau de mer n'a été répertoriée à ce jour.

- Conclusion

En présence d'un traitement adéquat de l'eau (recyclage et désinfection), le risque représenté par les shigelles est limité. De plus, dans les bains à remous, l'ingestion d'eau est peu fréquente, ce qui limite d'autant plus le risque sanitaire associé à *Shigella*.

### *Salmonella*

Les salmonelles sont des bactéries vivant dans le tractus intestinal des vertébrés. La présence de salmonelles dans les eaux usées puis dans les effluents de station d'épuration peut conduire à une contamination des eaux marines. Les salmonelles sont responsables, par ingestion, de gastro-entérites aiguës. En France, *S. enterica* sérotype *thyphimurium* et *S. enterica* sérotype *enteridis* sont les principaux agents impliqués dans ces pathologies. L'infection à *Salmonella* peut être sévère chez les jeunes enfants, les personnes âgées et les sujets immunodéprimés (Afssa, 2009a).

Dans l'eau de mer, en conditions de laboratoire, la survie de *S. enterica* sérotype *thyphimurium* a été estimée. Après 8 semaines d'incubation dans l'eau de mer à l'obscurité, un abattement de la population de *S. enterica* sérotype *thyphimurium* d'environ 1,5 log est obtenu à 8 °C alors qu'à 18 °C cet abaissement est de l'ordre de 2,7 log. En parallèle, l'effet du rayonnement UV du soleil a été étudié à 18 °C en soumettant la population de *S. enterica* sérotype *thyphimurium* à l'action des rayons UV pendant 48h (rayons UVA à 200 W.m<sup>-2</sup>). Un abattement de l'ordre de 3,5 log de la population de *S. enterica* sérotype *thyphimurium* est alors observé (Hernroth *et al.*, 2010).

Il n'existe pas de données permettant d'apprécier leur sensibilité au brome. Toutefois, la sensibilité au brome des salmonelles doit être proche de celle d'*E. coli*. En effet, la sensibilité au chlore des salmonelles est équivalente à celle d'*E. coli* (King *et al.*, 1988) et les mécanismes d'action du chlore sur les bactéries sont identiques à ceux du brome (oxydants halogénés).

Une norme NF ISO 19250 est employée en laboratoire pour rechercher les salmonelles dans les eaux par culture. Cette technique n'est que qualitative, car la première étape consiste en un pré-enrichissement. De plus, elle nécessite 3 autres étapes ; ce qui ne permet pas d'obtenir une réponse rapide.

- Mode de contamination

Dans les bains à remous, la transmission se fait essentiellement par voie digestive, par ingestion accidentelle d'eau contaminée par les salmonelles.

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

Aucune infection liée à *Salmonella* et due spécifiquement à la fréquentation de bains à remous alimentés en eau de mer n'a été rapportée à ce jour.

- Conclusion

En présence d'un traitement approprié de l'eau (recyclage et désinfection), le risque représenté par les salmonelles est limité. En outre, dans les bains à remous, l'ingestion d'eau est peu fréquente, ce qui limite d'autant plus le risque sanitaire associé à *Salmonella*.

## *Vibrio*

Le genre *Vibrio* est largement distribué en milieu marin côtier aussi bien dans les régions tempérées que tropicales. Il est décelé dans l'eau de mer et les sédiments, en raison de son caractère halophile<sup>16</sup>, et est fréquemment présent dans le plancton, les poissons, les crustacés et les mollusques bivalves. Dans les pays à climat tempéré, les espèces *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* sont prédominantes (Hansen, 2000). La température et la salinité de l'eau jouent un rôle important pour la croissance du genre *Vibrio*. Les densités les plus élevées en *Vibrio* se rencontrent dans les eaux de température supérieure à 18°C et de salinité intermédiaire entre l'eau douce et l'eau de mer (Afssa, 2009 c). La prévalence de la bactérie atteint un sommet pendant les saisons estivales chaudes (Hansen, 2000). La température optimale de croissance de *V. parahaemolyticus* est de 37°C et celle de *V. alginolyticus* est de 33 °C (Hansen, 2000). Durant les saisons froides, les vibrions survivent dans les sédiments et le plancton (Afssa, 2009). Une étude a été réalisée sur les côtes italiennes sur 167 prélèvements d'eau de surface et de sédiments. 42 % des prélèvements étaient positifs pour *Vibrio* sp. (Dumontet *et al.*, 2000). Une autre étude, menée également en Italie, a permis d'évaluer, sur 58 échantillons d'eau, les concentrations en *Vibrio* dans l'eau de mer. Elles étaient comprises entre 10 et 10<sup>6</sup> UFC.100 mL<sup>-1</sup> (Auclino *et al.*, 2001)

*V. alginolyticus* est impliquée dans la surinfection de plaies par contact avec une eau contaminée et dans des otites. Il est rarement associé à des pathologies diarrhéiques. *V. vulnificus* est également majoritairement responsable de surinfections cutanées. Enfin, *V. haemolyticus* est à l'origine de gastro-entérites aiguës et de rares infections extra-digestives (infections oculaires et cutanées, otites) (Hansen, 2000, Afssa, 2009c).

Dans l'eau de mer, en conditions de laboratoire, la survie de *V. parahaemolyticus* a été évaluée. Après 8 semaines d'incubation dans l'eau de mer à l'obscurité, un abattement de la population de *V. parahaemolyticus* de l'ordre de 2,7 log est observé à 18 °C, les bactéries étant non détectées par culture à 8 °C. En parallèle, l'effet du rayonnement UV du soleil a été étudié à 18°C en soumettant la population de *V. parahaemolyticus* à l'action des rayons UV pendant 48h (rayons UVA à 200 W.m<sup>-2</sup>). Aucune bactérie n'a été détectée par culture suite à cette exposition (Hernroth *et al.*, 2010).

Il n'existe pas de données permettant d'apprécier leur sensibilité au brome. Toutefois, la sensibilité au brome des *Vibrio* doit être similaire à celle d'*E. coli*. En effet, les mécanismes d'action sur les bactéries du chlore et du brome sont identiques et *V. parahaemolyticus* montre une sensibilité au chlore proche de celle d'*E. coli* (Agence de la Santé Publique du Canada, 2001).

- Mode de contamination

La transmission se fait habituellement par ingestion de produits de la mer contaminés mais également par ingestion d'eau contaminée. Une transmission par voie cutanée peut également se produire suite à une rupture traumatique de la barrière cutanée (Hansen, 2000).

Dans les bains à remous, la contamination est possible par contact direct d'une peau lésée avec l'eau lors de la baignade ou par l'ingestion accidentelle d'eau contaminée par la bactérie.

- Données sur l'infectiosité

On ne dispose pas de données fiables à ce jour sur les relations dose-effet / dose-réponse (Afssa, 2009c).

---

<sup>16</sup> Halophile : propriété de croître en présence de 75 mg.L<sup>-1</sup> de NaCl

- Épisodes infectieux associés aux bains à remous

Il n'existe pas de cas recensé d'infection à *Vibrio* suite à la fréquentation de bains à remous d'eau de mer.

- Conclusion

Ces micro-organismes ne sont pas évoqués ni recherchés comme étiologies d'infection liée aux bains à remous. Considérant le mode principal de transmission de cet agent est l'ingestion de mollusques contaminés et étant donné la sensibilité aux oxydants de cette bactérie, une désinfection en continu de l'eau du bain à remous devrait être suffisante pour maîtriser le risque associé à *Vibrio*.

#### *Pseudomonas aeruginosa*

*P. aeruginosa* se distingue par sa grande adaptabilité, ce qui lui permet, entre autres, de survivre dans l'eau de mer en dépit des conditions hostiles. Khan *et al.*, (2010) ont comparé la survie de 3 souches de *P. aeruginosa* [2 souches environnementales (eau douce et eau de mer) et 1 souche clinique] dans de l'eau de mer artificielle, à différentes températures (dont 25 °C et 37 °C). La souche d'origine marine montre une capacité à survivre dans l'eau de mer artificielle supérieure à celle des 2 autres souches après 320 h d'incubation. La population de cette souche de *P. aeruginosa* augmente même d'un facteur 50, la température ne modifiant pas cette propriété.

Il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de connaître la concentration en *P. aeruginosa* dans les eaux du littoral français en raison de l'absence de données. Une étude sur la prévalence de la bactérie dans la baie de Tokyo a montré sa présence à des concentrations allant de 10<sup>2</sup> à 10<sup>4</sup> cellules par mL (Kimanata *et al.*, 2004).

L'Institut National de Santé Publique du Québec (2009) mentionne qu'une concentration constante d'au moins 3 mg.L<sup>-1</sup> de brome serait requise pour contrôler la prolifération de *P. aeruginosa* dans les bains à remous. Shaw (1984) a mené une étude relative à l'occurrence de *P. aeruginosa* dans 25 bains à remous. Il a constaté que la bactérie était plus fréquemment isolée lorsque le traitement de désinfection de l'eau du bain à remous était réalisé au brome (taux d'isolement de 38 %) que lorsque qu'il était effectué au chlore (taux d'isolement de 17 %).

- Conclusion

Les risques liés à *P. aeruginosa* sont identiques à ceux décrits dans le paragraphe sur les bains à remous alimentés en EDCH, la pathologie principale étant la folliculite.

#### *Staphylococcus aureus*

Les *Staphylococcus* sp. sont connus pour être halophiles et arrivent à survivre dans l'eau de mer durant plusieurs jours. Fujioka et Unutoa, (2006) ont étudié la survie, en l'absence de lumière et à 24 °C, d'une souche de *S. aureus* dans l'eau de mer supplémentée ou non en peptone (0,5 %). Dans l'eau de mer non modifiée, la population de *S. aureus* reste stable durant 24h puis décroît progressivement (abattement de l'ordre de 2 log en 48h et de 4 log en 80h). Lorsque des éléments nutritifs sont ajoutés à l'eau de mer, la population de *S. aureus* se multiplie (croissance supérieure à 5 log en 48h) puis se maintient pendant au moins 5 jours.

Il n'est pas possible, à ce jour, de connaître la sensibilité des staphylocoques au brome en raison de l'absence de données.

Une méthode normalisée permet la détection et le dénombrement des staphylocoques pathogènes, qui correspondent à *Staphylococcus aureus*, dans les eaux. Cette norme (AFNOR XP T 90-412) consiste en une méthode traditionnelle par culture sur milieu sélectif. Elle est déjà appliquée pour les contrôles des eaux de piscines s'inscrivant dans un contexte réglementaire.

*S. aureus* est une bactérie qui colonise la peau et/ou la cavité nasale et la gorge d'environ 30-40 % des humains sans porter préjudice à leur santé. Toutefois, la bactérie est impliquée dans diverses pathologies humaines (conjonctivites, sinusites, otites externes, furoncles, impétigos, infections urinaires, etc.) suite à un affaiblissement des défenses immunitaires à la présence de petites blessures cutanées. Certaines souches sont connues pour leur résistance aux antibiotiques et sont plus difficiles à traiter. C'est le cas des SARM (*Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline) que l'on retrouve chez environ 2 % de la population (Brun et Bess, 2000).

- Mode de contamination

La transmission interhumaine s'opère généralement par contact direct (manuportage). La contamination est favorisée en cas de rupture traumatique de la barrière cutanée. Plus rarement, elle peut être indirecte à partir d'une source environnementale (eaux, surfaces). Aucune transmission par inhalation d'air contaminé n'a été démontrée à ce jour.

La promiscuité rencontrée dans les bains à remous et le contact de la peau avec les surfaces facilitent la transmission interhumaine (de porteurs sains à non porteurs) de souches de *S. aureus*.

- Épisodes infectieux liés à des bains à remous

Aucun cas d'infection due à *S. aureus* associée à l'usage de bains à remous n'a été signalé dans la littérature scientifique, probablement en partie en raison des pathologies généralement banales provoquées par cette bactérie (OMS, 2006).

- Occurrence de *S. aureus* dans les bains à remous

Une étude a été réalisée aux Etats-Unis par Plano *et al.* (2011) afin d'évaluer la quantité de *Staphylococcus aureus* sensible à la méthicilline (SASM) et de SARM amenée par les baigneurs porteurs sains adultes et enfants dans des piscines d'eau de mer, dont la température était proche de celle des bains à remous (31 °C). Cette étude confirme non seulement que les *S. aureus* survivent dans l'eau de mer à 31°C mais également que, lors d'une baignade, de grandes quantités peuvent être libérées dans l'eau par les porteurs sains. Ce danger microbien doit être pris en considération en raison du nombre important de porteurs sains de *S. aureus* (30 % des adultes hébergent la bactérie de façon permanente et 50 % de façon intermittente), de l'aptitude de la bactérie à coloniser la peau et les muqueuses et de son caractère halophile.

- Conclusion

De part sa prévalence élevée de porteurs sains, son aptitude à coloniser la peau et les muqueuses et son caractère halophile, le risque de transmission de *S. aureus* de porteur sain à non porteur est à prendre en considération.

#### *Les mycobactéries non tuberculeuses*

La prévalence des mycobactéries non tuberculeuses (MNT) dans l'eau de mer est mal connue, de même que les teneurs habituellement trouvées dans les eaux du littoral français. Il semble, néanmoins, que la salinité de l'eau de mer limite le développement de certaines espèces alors qu'elle permet la croissance d'autres, dont, majoritairement *Mycobacterium fortuitum*, *Mycobacterium marinum* et *Mycobacterium gordonae* (George *et al.*, 1980 ; Dailloux *et al.*, 1999). Ainsi, George *et al.* (1980) indiquent qu'à une concentration de 3,7 % en chlorure de sodium, l'inhibition des MNT du complexe *M. avium* intracellulare est pratiquement totale.

*M. gordonae* est une espèce faiblement pathogène, rarement impliquée dans des pathologies humaines ; les seuls cas rapportés sont liés à des personnes immunodéficientes. *M. fortuitum* peut être à l'origine de surinfection de plaies, et plus rarement, d'infections cutanées. Enfin, *M. marinum* est l'agent reconnu d'une infection cutanée ou granulome des piscines et des aquariums. Ces lésions siègent préférentiellement au niveau des zones abrasées (coudes, genoux) où la barrière cutanée est fragilisée (Dailloux *et al.*, 1999). Deux cas de granulome ont été signalés aux Etats-

Unis suite à une baignade en eau de mer chez des sujets fragilisés (Faroqui *et al.*, 1999 ; Pandian *et al.*, 2008).

Il n'est pas possible, à l'heure actuelle de connaître la sensibilité des MNT au brome en raison de l'absence de données.

- Conclusion

Les MNT sont connues pour leur capacité à être hébergées au sein d'amibes et leurs propriétés de résistance envers le chlore. Seules les MNT, dont le développement n'est pas limité par la salinité de l'eau de mer, représentent un danger sanitaire. Au vu des connaissances actuelles, le risque principal retenu est le granulome.

#### *Legionella*

Même si les légionelles supportent mal les milieux à salinité élevée (Tsuchiya *et al.*, 2005 ; Afsset, 2007b), certaines publications indiquent qu'elles pourraient être retrouvées dans les environnements marins. Ainsi, Heller *et al.* (1998) ont étudié en laboratoire la survie de *L. pneumophila* sérotype 3 dans deux eaux de mer de salinité différentes (1,5 % et 3 ‰ p/v en chlorure de sodium) et à plusieurs températures (10 °C, 20 °C, 30 °C et 37 °C). Dans l'eau de mer de salinité à 1,5 ‰, quelle que soit la température, l'abatement après 7 jours de la population de *L. pneumophila* est identique, de l'ordre de 1,5 log. Par contre, dans l'eau de mer de salinité à 3 ‰, l'abaissement de la population de *L. pneumophila* varie en fonction de la température: ainsi à 10 °C, il est de l'ordre de 0,5 log alors qu'à 30 °C ou 37 °C il est voisin de 2 log. Par ailleurs, Gast *et al.* (2011) suggèrent que *L. pneumophila* peut survivre dans l'eau de mer à l'intérieur d'amibes adaptées aux milieux marins.

Kim *et al.* (2002) indiquent que le brome est moins efficace que le chlore vis-à-vis de *L. pneumophila*. Le brome serait efficace entre 0,1 mg.L<sup>-1</sup> et 10 mg.L<sup>-1</sup> pour un temps de contact compris entre une minute et quelques heures pour des eaux techniques. Néanmoins, la propriété des légionelles à survivre et à se multiplier à l'intérieur de biofilms et/ou d'amibes, leur confère une protection renforcée vis-à-vis de l'effet bactéricide des désinfectants.

Il est, à noter, qu'aucun cas de légionelloses associé à l'usage de bains à remous alimentés en eau de mer n'est recensé à ce jour.

- Conclusion

Le manque de données concernant ce danger bactérien dans l'eau de mer (survie / développement, prévalence et concentration) ne permet pas de conclure quant au risque sanitaire qu'il représente. Toutefois, étant donné que les bains à remous présentent des conditions propices au développement des légionelles, le risque associé à cet agent ne peut être écarté.

#### 4.3.3.2 Dangers viraux

Les virus persistent dans l'eau de mer. Ils peuvent être dispersés par aérolisation sur des distances probablement assez grandes (100 m à plusieurs km) (Dueker *et al.*, 2011 ; Carducci *et al.*, 2000). Les virus pathogènes pour l'Homme proviennent essentiellement des cours d'eau et des rejets directs des stations d'épuration d'eaux usées. La proximité d'un effluent d'eau de station d'épuration près de la prise d'eau du bain à remous peut engendrer une présence accrue de virus entériques (Henrickson *et al.*, 2001). Ces virus peuvent se fixer sur les matières en suspension de taille < 3 µm et à des sédiments floconneux. L'OMS (2003) suggère que seuls les virus associés à des particules sont capables de rester infectieux et d'être disséminés à distance. Ils sont, toutefois, sensibles aux rayonnements solaires, cette sensibilité étant dépendante, entre autres, de la charge organique de l'eau.

La contamination virale d'un secteur du Golfe du Morbihan, liée principalement à la présence de 3 sites de rejets, a été suivie. Les rotavirus ont été majoritairement détectés dans les 3 stations

d'épuration avec une moyenne à 38 % puis les entérovirus (17 %), le virus de l'hépatite A (12 %), les calicivirus (5 %) et les astrovirus (2 %) (Pommepuy *et al.*, 2003). Des norovirus ont été quantifiés dans l'eau de mer au Royaume Uni, les concentrations mesurées en norovirus sont en moyennes de  $7.10^2$  unité de génomes par 100 mL (Fiori, 2004). L'analyse de l'eau de mer de plusieurs pays européens a permis de confirmer la présence des norovirus (sur 482 échantillons d'eau analysés, 79 étaient positifs soit 16,4 %) et de mettre en évidence des adénovirus (sur 482 échantillons d'eau analysés, 132 se sont révélés positifs soit 27,4 %) (Wyn-Jones *et al.*, 2011).

Ces micro-organismes ne sont pas souvent évoqués ni recherchés comme étiologies d'infection liée aux bains à remous d'eau de mer. Aucune infection virale due spécifiquement à la fréquentation de bains à remous alimentés en eau de mer n'est rapportée à ce jour.

- Conclusion

En l'absence de données complémentaires, on peut supposer que les dangers microbiologiques dus aux entérovirus, virus de l'hépatite A, adénovirus, rotavirus et norovirus sont identiques à ceux identifiés pour les piscines réglementées (Afsset, 2010a). En ce qui concerne les astrovirus, le peu de données concernant ce danger viral ne permet pas de conclure quant au risque sanitaire qu'il représente.

#### 4.3.3.3 Dangers liés aux levures et moisissures

La recherche bibliographique a mise en évidence une étude sur la survie dans l'eau de mer de dermatophytes (Anderson, 1979) et deux études sur celle de *Candida albicans* (Anderson, 1979 ; Chaieb *et al.*, 2011). Après 8 semaines d'incubation dans l'eau de mer à 30°C, la réponse de *C. albicans*, *Trichophyton mantagrophytes* et *Microsporium gypseum* est variable. L'abattement de la population de *C. albicans* est de 4 à 5 log (en fonction de la salinité de l'eau de mer) alors que l'abaissement n'est que de 3 à 4 log pour *T. mantagrophytes* et *M. gypseum* (Anderson, 1979). De leur côté, Chaieb *et al.* (2011) ont montré que la survie de *C. albicans* n'était pas affectée après 21 jours d'incubation dans de l'eau de mer à 25°C ; un abattement de 4 log étant obtenu après 120 jours. Il est à noter que l'eau de mer sélectionnée pour ces expériences présentait des concentrations élevées en éléments minéraux (magnésium, fer, calcium et potassium).

Le risque fongique peut être également lié au développement de moisissures sur les sols, les murs, les plafonds et les systèmes d'aération de ces établissements.

- Conclusion

En raison de l'absence de données liée à la contamination fongique de l'eau du bassin, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé à ces micro-organismes.

#### 4.3.3.4 Dangers liés aux protozoaires

##### **Protozoaires d'origine fécale**

Les kystes de *Giardia* sp. ou de *Cryptosporidium* sp. peuvent survivre dans l'environnement pendant de longues périodes. Ils peuvent survivre dans l'eau pendant des semaines, voire des mois en fonction de certains facteurs, notamment les caractéristiques propres de la souche et de l'eau comme la température. Toutefois, peu d'informations sont disponibles sur l'infectiosité des kystes. Les études ont fréquemment révélé la présence de kystes ou d'oocystes non viables, particulièrement dans les eaux usées ou de surface (Santé Canada, 2011).

Leur présence est également indirectement confirmée par la contamination fréquente des mollusques d'eau de mer par ces parasites. La description récente d'infections fréquentes chez les mammifères et les oiseaux marins constitue une preuve indirecte de la survie de ces parasites en eau de mer (Lasek-Nesselquist, 2008).

Robertson *et al.* (1992) ont mentionné que les oocystes de *C. parvum* pouvaient résister à divers stress environnementaux dont l'exposition à l'eau de mer. Des suspensions d'oocystes ont été immergées dans de l'eau de mer, conservés à 4°C à l'obscurité. Leur survie a été suivie pendant



35 jours. Au moment de l'inoculum, 18 % des oocystes étaient morts, après 35 jours d'incubation, le pourcentage d'oocystes morts s'élevait à 43,7 %.

En France, les données de surveillance vis-à-vis des *Giardia* sp. et des *Cryptosporidium* sp. proviennent essentiellement de suivis sur les eaux de surface, les eaux usées ou l'eau destinée à la consommation humaine. Une recherche réalisée en Europe a révélé qu'en général les concentrations de kystes de *Giardia* sp. dans les eaux usées brutes variaient de 5 000 à 50 000 kystes.L<sup>-1</sup> et celle d'oocystes de *Cryptosporidium* sp. de 1 000 à 10 000 oocystes.L<sup>-1</sup> (Santé Canada, 2011).

La prévalence de ces 2 parasites dans l'eau de mer de 2 stations balnéaires du Mexique a été rapportée. Les *Cryptosporidium* sp. et les *Giardia* sp. étaient présents respectivement dans 71 % et 57 % des échantillons d'eau de mer collectés au niveau du 1<sup>er</sup> site et dans 83 % et 72 % des échantillons du second site. Les teneurs en *Cryptosporidium* sp. étaient entre 150 to 2050 oocystes.10 L<sup>-1</sup> et celles en *Giardia* sp. entre 10 to 300 kystes.10 L<sup>-1</sup> (Magana-Ordorica *et al.*, 2010).

A l'heure actuelle, aucun cas de cryptosporidiose ou de giardiase associé à la fréquentation de bains à remous alimentés en eau de mer n'a été recensé.

### Protozoaires d'origine environnementale

En ce qui concerne les amibes libres, elles ont été retrouvées en eau de mer (Liu *et al.*, 2006), mais leur survie dans ces eaux ne semble pas avoir été évaluée.

- Conclusion

En raison de leur grande résistance au chlore, leur survie dans l'eau de mer et les faibles doses infectieuses par ingestion, les kystes de *Giardia duodenalis* et les oocystes de *Cryptosporidium* sp. peuvent représenter un danger sanitaire. Toutefois, dans les bains à remous, l'ingestion d'eau étant peu fréquente, ce risque est faible. En outre, la mise en place d'une coagulation avant l'étape filtration permet de réduire le risque lié à *Giardia duodenalis* et à *Cryptosporidium* sp. (Yoder *et al.*, 2008).

En raison du peu d'éléments relatifs aux amibes libres dans l'eau de mer (survie, occurrence, concentrations, infectiosité, *etc.*), il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé aux amibes libres au cours de l'utilisation de bains à remous alimentés en eau de mer.

#### 4.3.3.5 Dangers liés aux cyanobactéries et à leurs toxines

Plusieurs espèces de cyanobactéries sont présentes dans l'eau de mer. Elles peuvent dans certaines circonstances (chaleur, présence d'engrais, *etc.*) se multiplier brutalement, au point de changer la couleur de l'eau. Certaines espèces sont capables de produire, lors de telles proliférations, des toxines en quantités suffisantes pour constituer un danger pour les humains.

Les risques liés à la présence de toxines émises par les cyanobactéries dans l'eau de baignade ont été répertoriés dans le rapport commun de l'Afsset et de l'Afssa de juillet 2006. Des cyanotoxines à effets irritants ou allergiques ont été identifiées en milieu marin et saumâtre : il s'agit de l'aplysiatoxine, de la débromoaplysiatoxine et de la lyngbyatoxine (Mynderse *et al.*, 1977 ; Cardellina *et al.*, 1979). La présence de ces toxines en eau de mer provoque, chez le baigneur, des allergies et des irritations sévères. Ces toxines se sont également révélées être de puissants promoteurs de tumeurs (Fujiki *et al.*, 1990).

Une soixantaine de personnes ayant fréquenté la plage de N'Gouja à Mayotte, ont présenté des syndromes d'irritation cutanée et respiratoire, vraisemblablement à la suite d'inhalation d'embruns et/ou d'activité de baignade. L'apparition de ces syndromes irritatifs a été concomitante à une efflorescence massive dans l'eau de cyanobactéries potentiellement toxiques, du genre *Lyngbya*, associées à des végétaux du type phanérogame marine (Afsset, 2010b).

La chloration d'une eau de mer contenant des toxines de cyanobactéries conduit généralement à la formation de composés organochlorés secondaires : THM, dérivés de l'acide acétique, de l'acétonitrile (Afssa-Afsset, 2006), ces sous-produits étant à l'origine de pathologies exposées dans les parties « dangers physico-chimiques » de ce rapport.

Un autre risque, lié à la présence et à l'aérolisation de cyanobactéries dans l'eau de baignade, est la présence d'endotoxines. Les endotoxines sont des lipopolysaccharides des parois cellulaires (présentes chez des bactéries Gram-négatives) qui ont des propriétés immunogènes et pyrogènes pouvant être à l'origine de problèmes respiratoires aigus ou chronique (déclin des fonctions pulmonaires) (Hindman *et al.*, 1975 ; Anderson *et al.*, 2002). Des études ont montré la présence de concentration élevée en endotoxines (jusqu'à 38 000 unités par mL) liées à la contamination d'eaux brutes par les cyanobactéries (Rappala *et al.*, 2002). Cependant aucune donnée concernant les concentrations en endotoxines dans l'air, à la surface d'eaux colonisées par des cyanobactéries, n'existe actuellement.

L'inhalation d'aérosols contaminés par des cyanotoxines ou le contact cutané-muqueux avec ces toxines est possible dans les bains à remous alimentés par de l'eau de mer. Toutefois, aucune pathologie associée aux cyanobactéries ou à leurs toxines n'a été rapportée avec l'usage de bains à remous alimentés en eau de mer.

- Conclusion

En cas de prolifération de cyanobactéries, le dispositif de filtration mis en œuvre pour les bains à remous n'est ni conçu, ni adapté pour garantir leur rétention. De plus, la filière ne permet pas d'éliminer les toxines. C'est pourquoi, le danger « cyanobactéries » est l'un des paramètres déterminants à considérer lors du choix de l'implantation de la prise d'une eau de mer. Il doit être intégré dans un protocole de surveillance et, en cas de prolifération, la prise d'eau ne doit pas être utilisée. La chloration d'une eau de mer contenant des toxines de cyanobactéries conduit généralement à la formation de composés organochlorés secondaires : THM, dérivés de l'acide acétique, de l'acétonitrile (Afssa-Afsset, 2006), ces sous-produits étant à l'origine de pathologies exposées dans les parties « dangers physico-chimiques » de ce rapport.

#### 4.3.3.6 Dangers liés aux dinoflagellés et à leurs toxines

Les dinoflagellés sont des organismes unicellulaires flagellés phytoplanctoniques des eaux marines ou saumâtres tempérées et chaudes. Il existe environ 2000 espèces de dinoflagellés dont certaines sont toxiques et produisent des phycotoxines. Il existe 4 syndromes pour l'homme dus à ces phycotoxines : diarrhéiques, paralysants, amnésiants et neurologiques. Les eaux du littoral français font l'objet d'une surveillance régulière par le REPHY (réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines), coordonnée par IFREMER.

Il existe 3 voies d'exposition aux toxines marines pour l'Homme :

- ▶ l'ingestion par consommation de coquillages ou de poissons contaminés (voie majoritaire) ou par ingestion d'eau lors d'activité récréatives ;
- ▶ l'inhalation par aérolisation des toxines ;
- ▶ le contact cutané, notamment lors de la baignade.

Les populations exposées les plus sensibles sont les enfants, les femmes et les personnes âgées (Bertrand *et al.*, 2007).

Aucune pathologie associée aux dinoflagellés ou à leurs toxines n'a été rapportée avec l'usage de bains à remous alimentés en eau de mer.

L'action du chlore sur les toxines de dinoflagellées n'est pas décrite à notre connaissance mais elle pourrait conduire à la formation de composés organochlorés secondaires ayant des effets sur la santé, lors de l'utilisation d'une eau de mer contaminée pour l'alimentation de bains à remous.

- Conclusion

Le risque lié aux dinoflagellées et à leurs diverses toxines apparaît majoritairement associé à l'ingestion de coquillages et de poissons contaminés, ce qui suggère que le risque sanitaire lié à la fréquentation de bains à remous est faible. Toutefois, le captage ne doit pas être utilisé si la surveillance régulière des eaux du littoral français par le REPHY indique que la prise d'eau est fortement contaminée par des dinoflagellés et/ou par leurs toxines.

#### 4.3.3.7 Points à retenir

Ce chapitre consacré aux dangers liés à la fréquentation de bains à remous alimentés en eau de mer montre clairement que les données bibliographiques (hétérogénéité dans la composition physico-chimique et microbiologique des eaux de mer, manque de connaissance sur la survie / développement, prévalence et concentration des micro-organismes, nombre trop faible d'études menées sur des bassins alimentés par cette ressource en eau, etc.) sont trop peu nombreuses pour mener une évaluation des risques quantitative ou qualitative.

Toutefois, les réactions chimiques induites par un traitement de désinfection autorisé par la réglementation (ozonation, chloration) sur une eau de mer montrent clairement :

- ▶ la formation de nombreux sous-produits de désinfection présentant un risque avéré ;
- ▶ la production de composés bromés, dont la toxicité est connue pour être supérieure à celle des composés chlorés, et ceci quelle que soit la famille à laquelle ils appartiennent (THM, AHA, HAN, etc.) (Westerhoff *et al.*, 2004 ; Richardson *et al.*, 2007 ; Agus *et al.*, 2009 ; Smith *et al.*, 2010).

A partir des données existantes sur les établissements alimentés en eau de mer, et à partir des données physico-chimiques des composés détectés (solubilité, tension de vapeur, etc.), les experts ont identifié les composés qui présentent un risque important pour les personnes fréquentant les bains à remous alimentés par de l'eau de mer. Ainsi, les THM bromés et plus particulièrement le bromoforme et le dibromochlorométhane, et les HAA bromés et plus particulièrement les acides monobromo, dibromo et tribromoacétiques et l'acide chlorodibromoacétique sont les composés les plus fréquemment rencontrés dans les bassins alimentés en eau de mer et à des niveaux très élevés. Les voies d'exposition à ces composés sont majoritairement la voie cutanéomuqueuse pour les HAA bromés et les voies cutanéomuqueuse et l'inhalation pour les THM bromés.

Les experts ont constaté également qu'il est possible de former des sous-produits iodés à partir d'eau de mer soumise à un traitement de désinfection. Toutefois, ne disposant d'aucune étude menée dans des établissements alimentés par cette ressource en eau mais disposant de données dans lesquelles il est annoncé que les composés iodés sont plus toxiques que leurs homologues chlorés et bromés, les experts recommandent de mener des études pour connaître les niveaux d'exposition à ces composés des usagers fréquentant ces établissements, équipés de bains à remous ou non.

Concernant les micro-organismes pour lesquels le mode d'exposition est l'ingestion (*Salmonella* sp., *Vibrio* sp., *Cryptosporidium* sp., virus entériques, etc.), le risque de contamination apparaît moins élevé que dans les piscines traditionnelles car les usagers gardent, en général, la tête hors de l'eau. En outre, le traitement de désinfection de l'eau de mer, appliqué dans ces bassins, devrait suffire à maîtriser le risque associé à des micro-organismes.

Pour les agents microbiens dont la contamination se fait principalement par contact cutané (*P. aeruginosa*, *S. aureus*, certaines MNT, etc.), le risque est plus élevé que dans les piscines traditionnelles car les usagers sont davantage en contact avec les surfaces et dans une plus grande promiscuité avec les autres usagers. Ces agents représentent donc un risque sanitaire au niveau des bains à remous alimentés en eau de mer qu'il est nécessaire de prendre en compte.

Pour les bactéries dont la contamination se fait par inhalation, essentiellement *Legionella* dont *L. pneumophila*, le risque ne peut être écarté, même si leur survie dans cet environnement n'est pas optimale.

L'alimentation des bains à remous par de l'eau de mer peut être à l'origine de pathologies chez les usagers, si celle-ci est chargée en cyanobactéries et en toxines (formation de sous-produits chlorés suite au traitement de l'eau, irritations cutanées et réactions allergiques). Toutefois ce risque peut être limité en procédant aux captages de l'eau dans des zones ne présentant aucun signe de bloom algal.

En raison de l'absence de données spécifiques aux bains à remous alimentés en eau de mer, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé aux levures et moisissures et aux amibes libres.

#### 4.4 Identification des dangers liés aux bains à remous alimentés par de l'eau minérale naturelle (activité thermoludique)

Depuis quelques années, sous l'impulsion des pouvoirs publics (Déloménie, 2000), les villes thermales diversifient leurs activités. La création de centres aquatiques ludiques est un élément important dans cette diversification. Dans certains cas, les établissements thermaux peuvent proposer une activité mixte, alliant soins thérapeutiques et activités de loisirs. Parallèlement d'autres établissements dénommés établissements thermoludiques proposant uniquement une activité de loisir et de bien-être se développent.

Les eaux alimentant ces bassins se distinguent de l'EDCH principalement par leur nature physico-chimique (concentration en oligo-éléments, température à l'émergence, stabilité de leurs caractéristiques, etc.). La présence de certains éléments minéraux (comme les ions sulfures) peuvent également contribuer à la formation de sous-produits de désinfection en quantités plus importantes (par rapport aux teneurs observées dans l'EDCH) de part la nécessité d'ajouter en permanence du désinfectant afin de respecter la législation actuelle en résiduel de désinfectant (par exemple, les ions sulfures vont en effet consommer le désinfectant ajouté pour former des sulfates). La surchloration engendrée par la présence de ces minéraux, combinée aux composés organiques apportés par les usagers, peut donc aboutir à la présence de SPD en plus grande concentration (comparée à une EDCH). L'autorisation préfectorale d'utiliser une eau minérale naturelle comme source d'alimentation des bains à remous devrait donc être subordonnée à l'étude de la *demande en chlore* de la ressource.

Elles constituent, de plus, des milieux environnementaux complexes contenant une flore microbienne autochtone très diversifiée (*Caulobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., *Alcaligenes* sp., *Flavobacterium* sp., amibes libres, etc.) (Leclerc et Moreau, 2002 ; Casanovas-Massana et Blench, 2012).

##### 4.4.1 Dangers chimiques

###### 4.4.1.1 Sous-produits de chloration

Chacune des eaux utilisées pour alimenter les bains à remous dans le cadre du thermoludisme possède des caractéristiques physico-chimiques particulières. Tout comme dans le cas de l'EDCH ou de l'eau de mer, les produits chlorés utilisés pour la désinfection de l'eau peuvent réagir avec les matières organiques pour former des sous-produits de désinfection. Les grandes classes de sous-produits cités précédemment (THM, AHA, etc.) sont donc susceptibles d'être retrouvées dans les bains à remous.

Parallèlement, compte tenu des caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation des centres thermoludiques, certains éléments chimiques peuvent interagir avec les désinfectants pour créer d'autres sous-produits de désinfection qui ne sont pas connus actuellement.

L'interaction de ces composés inorganiques avec les désinfectants crée des difficultés de maintien d'une concentration en chlore stable permettant de garantir en permanence une désinfection efficace de l'eau du bassin.

#### 4.4.1.2 Arsenic

L'arsenic (As) est largement répandu dans l'environnement. Il existe sous différentes formes chimiques mais c'est la forme inorganique As<sub>i</sub> trivalent qui prédomine dans les eaux naturelles.

En France, l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualités des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine fixe comme limite de qualité pour l'arsenic 10 µg.L<sup>-1</sup> pour l'EDCH et 100 µg.L<sup>-1</sup> pour les eaux brutes. Le niveau de risque associé à la limite de qualité de 10 µg.L<sup>-1</sup> est de l'ordre de 6 10<sup>-4</sup> pour une exposition voie orale pour la vie entière en se basant sur la VTR de 1,5 10<sup>-3</sup> (µg/kg/j)<sup>-1</sup> proposée par l'US EPA pour les cancers cutanés (Afssa, 2007).

Cependant, dans les eaux souterraines de certaines régions géologiques riches en minéraux, des concentrations beaucoup plus élevées d'arsenic se rencontrent (supérieures à 50 µg.L<sup>-1</sup> et pouvant atteindre les 5 000 µg.L<sup>-1</sup>).

De nombreuses études montrent les effets toxiques de l'arsenic inorganique (As<sub>i</sub>) suite à des expositions aiguës ou chroniques. Des cancers, notamment de la peau, de la vessie et du poumon, ainsi que des atteintes non cancéreuses, telles que des lésions cutanées, une hyperpigmentation, des verrues, une hyperkératose des mains et des pieds, des troubles vasculaires périphériques et neurologiques, sont décrits (ATSDR, 2007 ; Bickley et Papa, 1989 ; Cebrian *et al.*, 1983 ; Guha Mazumder *et al.*, 1988 ; Tseng *et al.*, 1968). La peau semble être l'un des organes cibles des dérivés inorganiques de l'As. La baignade dans un bain à remous pourrait donc favoriser l'exposition par contact cutané à cet élément. Cependant aucune étude n'a pu être retrouvée dans la littérature à ce jour.

#### 4.4.1.3 Radioactivité : cas du radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Il est présent dans toutes les eaux naturelles mais à des niveaux d'activité volumique variables. Il a deux origines :

- ▶ la décroissance radioactive du radium <sup>226</sup> dissous dans l'eau ;
- ▶ la dissolution du radon présent dans la roche au travers de laquelle stagne ou circule l'eau, jusqu'à l'aquifère ou à l'émergence.

La concentration en radon dans l'eau dépend de la teneur plus ou moins forte du radium dans la roche, des conditions géochimiques plus ou moins favorables et du temps de séjour de l'eau au sein de cette roche.

Les études disponibles sur les effets sanitaires liés au radon dans les eaux sont rares et n'ont pas montré de relation entre radon et développement de cancer (Collman, 1988 ; Kjellberg, 1995 ; Auvinen, 2005).

Les valeurs d'activité volumique de radon mesurées dans les eaux thermales françaises et étrangères s'échelonnent de la centaine à plusieurs dizaines de milliers de becquerels par litre d'eau (260 à 1400 dans les eaux thermales françaises, 0,05 à 700 Bq.L<sup>-1</sup> dans les eaux autrichiennes, 22 à 300 Bq.L<sup>-1</sup> dans les bains à remous en Hongrie et 5 à 600 Bq.L<sup>-1</sup> dans les bains à remous en Roumanie (Ameon, 2003 ; Koteles, 2007)).

Une étude réalisée sur des eaux thermales en Croatie destinées à des activités de baignade à la fois médicales et récréatives ou à des cures de boisson, montre que l'ingestion des eaux thermales n'a pas d'effet négatif sur la santé de l'homme (Bituh *et al.*, 2009). Ces données sont confirmées par les travaux de Tanaskovic (2011) sur la radioactivité de 29 bains à remous en

Serbie qui indiquent qu'il faudrait ingérer quotidiennement de l'eau contenant du radon pour observer des effets néfastes.

Améon *et al.* (2003) estiment que 10 Bq.L<sup>-1</sup> de radon-222 dans l'eau contribuent à générer 1 Bq m<sup>-3</sup> de radon dans l'air intérieur. Des concentrations variant entre 20 et 30 000 Bq.m<sup>-3</sup> en Radon dans l'air ont été mesurées dans l'atmosphère de bains à remous (Köteles G., 2007) (tableau XVI).

**Tableau XVI : Exemples de concentration-activité du <sup>222</sup> Rn dans différentes eaux.**

Origine	Bq.L <sup>-1</sup>	Atmosphère Bq.m <sup>-3</sup>
Slovénie	0,2-63	15-130
Kovasna (Roumanie)	0,3-613	200-30000
Rudas (Hongrie)	67-366	2900-7900
Hevez (EDCH) (Hongrie)	6,8-2,2-	20-600

(Source : Köteles, 2007)

Maushart (2005) montre que si l'eau d'alimentation contient 3 256 Bq.L<sup>-1</sup> en radon, 1 800 à 2 000 Bq.L<sup>-1</sup> sont retrouvés dans l'eau du bain à remous. Cette perte d'activité entre l'émergence et les bains est confirmée dans d'autres études (Améon *et al.*, 2003). L'étude de Maushart conclut que les doses d'exposition dans les bains à remous sont du même ordre de grandeur que l'exposition due au bruit de fond naturel de l'environnement et que la présence en concentration élevée de radon dans certaines eaux minérales alimentant les bains à remous ne présente pas de risque pour la santé. En revanche, il indique qu'en tenant compte des expositions dues à l'air et à l'eau, les personnes présentes dans les différentes pièces (accueil, galeries techniques) des établissements aquatiques seraient plus exposées que les baigneurs.

En effet, l'exposition au radon se fait principalement par inhalation. Le CIRC classe le radon comme cancérigène pulmonaire. Ce classement s'appuie sur de nombreuses études épidémiologiques qui ont confirmé l'existence d'un risque cancérigène par inhalation au niveau pulmonaire chez les mineurs de fond mais aussi dans la population générale. Les résultats de l'ensemble de ces études épidémiologiques sont concordants et montrent une élévation du risque de cancer du poumon avec l'exposition cumulée au radon et à ses descendants radioactifs par inhalation. Les derniers résultats obtenus en population générale montrent que ce risque lié au radon existe à la fois chez les fumeurs et chez les non fumeurs. Le personnel des établissements de thermoludisme serait le plus exposé. Des études ont montré que la dose reçue par les professionnels variait entre 0,2 et 15 mSv par an (Pohl, 1979 ; Mecszy, 2005). Par comparaison, la dose moyenne de l'exposition naturelle au radon par inhalation est de 1,15 mSv par an (0,2-10 mSv par an) et par ingestion de 0,29 mSv par an (0,2-0,8 mSv par an) (Köteles, 2007). La commission internationale pour la protection radiologique (ICRP) recommande des teneurs de 200 à 600 Bq.m<sup>-3</sup> pour les lieux d'habitation et 500 à 1500 Bq.m<sup>-3</sup> sur les lieux de travail ce qui correspond à des doses annuelles de 3 10 mSv dans tous les cas (ICRP, 1993).

Concernant l'exposition pour la voie cutanée, l'étude de Maushart a permis d'estimer qu'une personne se baignant 10 fois (20 mn à chaque fois) serait exposé à 2 mGy de radon sur la surface de la peau, à 30 mGy pour toute la peau et quelques Gy pour le sang (Maushart, 2005).

Concernant l'exposition au radon dans l'EDCH, la Commission européenne a émis une recommandation en 2001 qui stipule que « *au-delà d'une concentration de 100 Bq.L<sup>-1</sup>, les Etats membres doivent fixer un niveau de référence pour le radon, utilisé pour déterminer si des mesures correctives sont nécessaires pour protéger la santé humaine* », et que « *pour les concentrations supérieures à 1000 Bq.L<sup>-1</sup>, les mesures correctives sont jugées justifiées au plan*

de la protection radiologique ». Ce texte est en phase avec la valeur guide de 100 Bq.L<sup>-1</sup> proposée par l'OMS (2008).

Il est possible de diminuer l'activité volumique du radon dans les eaux soit par strippage soit par adsorption du radon sur charbon actif. Selon les études comparatives menées par l'IRSN pour évaluer l'efficacité de ces deux techniques, le strippage permettrait d'éliminer 99 % du radon dissous dans l'eau, et 95 % pour le charbon actif. Le strippage présente également l'avantage de ne pas générer de problème de pollution radioactive de la station de traitement de l'eau, contrairement à la seconde technique pour laquelle le lit de charbon actif doit être décontaminé (IRSN, 2010).

#### 4.4.2 Dangers microbiologiques

La recherche bibliographique n'a pas permis de mettre en évidence des études menées sur le développement de micro-organismes pathogènes en fonction du profil physico-chimique de l'eau utilisée dans le cadre de l'activité de thermoludisme.

##### 4.4.2.1 Dangers bactériens

Certaines bactéries d'origine hydrique, comme *Legionella pneumophila* ou *Pseudomonas aeruginosa*, peuvent être présentes dans l'eau et constituer un danger potentiel (DGS, 2005). Le cas des EMN ne sera pas évoqué ici. En effet, l'absence de données les concernant dans l'EMN (survie / développement, prévalence et concentration) ne permet pas de conclure quant au risque sanitaire qu'elles représentent.

##### *Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas aeruginosa* est à l'origine, en milieu thermal, de pathologies dont des infections cutané-muqueuses chez les sujets immuno-compétents (Pécastaings, 2010, Leclerc *et al.*, 2002b).

La survie de 2 souches de *P. aeruginosa* a été suivie dans 2 EMN, à température ambiante pendant 5 ans. Cette survie apparaît souche-dépendante mais également variable selon le type d'EMN. A partir d'un inoculum à 10<sup>2</sup> UFC.mL<sup>-1</sup>, les 2 populations de *P. aeruginosa* se multiplient dans les 2 EMN durant les 5 premiers jours (augmentation de 3 log) puis se maintiennent à cette concentration pendant environ 100 jours pour décroître ensuite graduellement au cours du temps. Une des 2 souches étudiées est toujours détectée après 5 ans dans les 2 EMN (abattement de 3 log) (Legnani *et al.*, 1999).

Aucune infection à *P. aeruginosa* en lien avec l'utilisation de bains à remous alimentés par des EMN à usage ludique n'est rapportée dans la littérature. De même son occurrence dans ce type d'équipements n'est pas connue. Toutefois, plusieurs publications montrent que cette bactérie est présente au sein d'établissements thermaux en France (Besse *et al.*, 2004).

- Conclusion

Etant donné la survie de *P. aeruginosa* dans l'EMN et ses caractéristiques déjà décrites dans les chapitres relatifs à l'EDCH et l'eau de mer, ce danger microbien ne peut être écarté. Le risque sanitaire principal est la folliculite, comme observé pour les bains à remous alimentés en EDCH.

##### *Legionella pneumophila*

La présence des légionelles dans les captages d'EMN naturellement bien protégés et dans les eaux minérales embouteillées est rarement rapportée. Les contaminations recensées viennent d'une mauvaise exploitation des réseaux et des équipements (Martinelli *et al.*, 2001 ; Molmeret *et al.*, 2001).

La prévalence des *Legionella* sp. et de l'espèce *L. pneumophila* a été étudiée dans de nombreuses stations thermales (Martinelli *et al.*, 2001 ; Molmeret *et al.*, 2001 ; Leclerc *et al.*, 2002, Hsu *et al.*, 2006). La littérature rapporte la présence de *Legionella pneumophila* (dont le serogroupe 1) dans des piscines récréatives alimentées en EMN (Sukthana *et al.*, 2005) mais il n'existe pas de cas recensé d'infection à *L. pneumophila* lié à l'utilisation de bains à remous alimentés en EMN à usage ludique.

- Conclusion

Etant donné la présence potentielle de légionelles, dont *L. pneumophila*, dans l'eau des bains à remous en EMN et les pathologies que ces bactéries provoquent chez l'Homme, le risque qui leur est associé doit être pris en compte.

#### 4.4.2.2 Dangers viraux

La littérature est inexistante concernant ces micro-organismes car ils ne sont pas souvent évoqués ni recherchés comme étiologies d'infection liée aux bains à remous, d'autant plus lorsque ceux-ci sont alimentés en EMN.

Aucune pathologie virale liée à l'usage des EMN dans des bains à remous n'a été rapportée dans la littérature.

- Conclusion

Etant donné, l'absence de données concernant ces agents dans les EMN (prévalence, concentrations, survie, *etc.*), aucune conclusion ne peut être émise vis-à-vis du risque sanitaire qui leur est associé.

#### 4.4.2.3 Dangers liés aux levures et moisissures

Les publications, en particulier françaises, relatives à la contamination des EMN par les moisissures et les levures sont rares. Les quelques données existantes, fournies pour la plupart par les syndicats français des producteurs d'EMN ne permettent pas de dresser un état des lieux représentatif de la contamination fongique de ces eaux (Afssa, 2009). En outre, aucune mycose liée à l'usage des EMN n'a été rapportée dans la littérature.

- Conclusion

Etant donné le peu de données concernant les levures et les moisissures dans les EMN (prévalence, concentrations, survie, *etc.*), aucune conclusion ne peut être émise vis-à-vis du risque sanitaire qui leur est associé.

#### 4.4.2.4 Dangers liés aux protozoaires

##### **Protozoaires d'origine fécale**

Contrairement aux eaux de surface, les EMN de par l'existence réglementaire en France de périmètres de protection des captages sont, *a priori*, à l'abri d'une contamination fécale et, en particulier, des oocystes de *Cryptosporidium* sp. ou des kystes de *Giardia* sp.

Toutefois, les oocystes de *Cryptosporidium* sp. et les kystes de *Giardia* sp. ont été recherchés dans 13 EMN du Brésil. Les analyses ont établi la présence de *Cryptosporidium* sp. dans 2 des 13 EMN à une concentration comprise entre 0,2 et 0,5 oocystes.L<sup>-1</sup> ; *Giardia* sp. n'a jamais été détecté (Franco et Cantasio-Neto, 2002). Ces contaminations sont probablement le résultat d'une mauvaise protection de la ressource.

Seule la survie d'oocystes de *C. parvum* a été étudiée dans 4 EMN pendant 12 semaines à 4°C et à 20°C. A 4°C, les oocystes conservent leur viabilité après 12 semaines d'incubation alors qu'à 20°C, seulement 30 % des oocystes sont encore viables (Nichols *et al.*, 2004).



Aucune pathologie parasitaire liée à l'usage des EMN n'est rapportée dans la littérature.

- Conclusion

Etant donné la protection des captages d'EMN et des modes de pompage mise en oeuvre, le risque sanitaire qui est associé à ces parasites paraît limité. De plus, l'ingestion d'eau est peu fréquente dans ce type d'équipements.

### Protozoaires d'origine environnementale

La littérature est peu abondante sur l'étude et la survie de ces micro-organismes et les dangers qu'ils représentent lors de l'usage de bains à remous alimentés en EMN.

Cependant *Naegleria* sp., *Naegleria fowleri* et *Acanthamoeba* sp. ont été isolées dans des sources thermales en Italie, Nouvelle-Zélande, Mexique et Thaïlande (Pena-Ares *et al.*, 1994, Sukthana *et al.*, 2005).

Aucune pathologie associée à *Acanthamoeba* sp. ou *Naegleria* sp. et en lien avec l'usage des EMN n'a été rapportée dans la littérature.

- Conclusion

Etant donné le peu de données concernant les amibes libres dans les EMN (prévalence, concentrations, survie, etc.), il n'est pas aisé de formuler une conclusion quant au risque sanitaire qui leur est associé. Toutefois, on peut supposer, au regard des informations rapportées dans les paragraphes sur l'EDCH et l'eau de mer, que le risque principal est la kératite amibienne chez les porteurs de lentilles de contact.

#### 4.4.3 Points à retenir

Les risques chimiques inhérents à l'utilisation d'eau minérale naturelle dans les bains à remous sont majoritairement liés à la présence d'arsenic et de radon, présents dans quelques ressources en France. Le radon semble pouvoir être facilement éliminé par la mise en place d'un strippage au niveau du bac tampon : des précautions sont néanmoins à mettre en oeuvre pour les personnels présents dans les locaux techniques de ces établissements. Quant à l'arsenic, si l'on se réfère à la limite fixée dans l'EDCH à partir des études liées au risque cutané (Afssa, 2007), la même valeur de 10 µg.L<sup>-1</sup> paraît pertinente pour les eaux minérales naturelles utilisées comme source d'alimentation de bains à remous. Une concertation avec l'IRSN devrait être envisagée afin de mettre en oeuvre d'éventuelles mesures administratives, organisationnelles, techniques, métrologiques et médicales pour limiter l'exposition des baigneurs et du personnel.

La présence de certains éléments minéraux (comme les ions sulfures) peuvent également contribuer à la formation de sous-produits de désinfection en quantités plus importantes (par rapport aux teneurs observées dans l'EDCH, par exemple) de part la nécessité d'ajouter en permanence du désinfectant afin de respecter la législation actuelle en résiduel de désinfectant (par exemple, les ions sulfures vont en effet consommer le désinfectant ajouté pour former des sulfates). L'autorisation préfectorale d'utiliser une eau minérale naturelle comme source d'alimentation des bains à remous devrait donc être subordonnée à l'étude de la demande en chlore de la ressource.

Les micro-organismes d'intérêt dans le cas des bains à remous alimentés en EMN sont :

- ▶ Les staphylocoques pathogènes (*S. aureus*), non évoqués dans ce chapitre car leur risque est équivalent à celui décrit dans les piscines traditionnelles. Il est à noter qu'ils sont émis par les usagers et qu'ils sont absents de l'EMN à la ressource. La promiscuité inter-baigneurs et le contact de la peau avec les surfaces du bain à remous favorisent la transmission interhumaine de la bactérie ;
- ▶ *Legionella* et principalement *Legionella pneumophila* parfaitement adaptées aux conditions présentes dans les bains à remous et pouvant être aéroportées à l'intérieur d'aérosols ;

- ▶ *Pseudomonas aeruginosa*, bactérie hydrotellurique, à l'origine majoritairement de folliculite lors de l'usage de bains à remous ;

En raison de l'absence de données spécifiques aux bains à remous alimentés en EMN, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure quant au risque sanitaire associé aux virus, aux levures et moisissures, aux amibes libres et aux MNT.

## 4.5 Autres dangers quel que soit le type d'eau

### 4.5.1 Dangers liés aux taux d'impureté des produits de traitements de l'eau

Les produits de traitement utilisés pour les eaux de bains à remous sont identiques à ceux utilisés pour les piscines réglementées. Ce sont essentiellement des correcteurs de pH, des floculants, des agents antimoussants, des détartrants et des désinfectants. Il en est de même pour les produits de nettoyage. Les dangers liés à ces produits sont décrits dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a).

Cependant, compte tenu des conditions particulières d'utilisation des bains à remous (température et agitation de l'eau, concentration fluctuante en désinfectant), ces produits et leurs impuretés ainsi que leurs éventuelles interactions avec les matériaux constituant le bassin (coque et circuit hydraulique) peuvent représenter un danger accru.

Des normes françaises et européennes portant sur les produits de traitement des piscines fixent en outre les critères de pureté. Ces critères visent à garantir une meilleure maîtrise de la qualité de l'eau pour les gestionnaires (Annexe 7).

Les normes de pureté concernent essentiellement les métaux lourds (Cd, Pb, Hg, etc.) et la teneur en ions bromure ou bromate. Les dangers liés aux bromates et aux métaux lourds résultent de l'ingestion accidentelle d'eau par les usagers. Les dangers liés à la présence d'ions bromures dans les réactifs sont indirects puisque ces ions ne présentent pas une toxicité intrinsèque élevée. Leur apport dans les eaux des bains à remous par les réactifs peut générer la formation de bromates par oxydation lors du traitement de désinfection chimique.

#### 4.5.1.1 Les bromates

La norme EN 901 fixe une concentration maximale en bromate de sodium à 0,25 % de chlore actif, soit  $2,5 \text{ g.kg}^{-1}$  de chlore actif pour le type 1 et 0,5 % pour le type 2, soit  $5 \text{ g.kg}^{-1}$  de chlore actif. La norme NF EN 900 fixe une concentration maximale en bromate de  $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  de chlore actif pour le type 1<sup>17</sup> et  $4,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour le type 2.

Il a été montré qu'un traitement à  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  en chlore pouvait amener une concentration de  $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  dans l'eau traitée si la concentration en bromates de la solution d'hypochlorite était de l'ordre de  $700 \text{ mg.L}^{-1}$ . La concentration en bromates n'évolue pas durant le stockage de l'hypochlorite de sodium. Une étude récente (Afsset b, 2009) a montré que pour les établissements utilisant des produits de désinfection ne respectant pas les critères de pureté définis dans ces normes, la concentration d'ions bromates de l'eau dépassait très fortement les limites de concentration autorisées dans l'EDCH (concentrations comprises entre 100 et  $120 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

---

<sup>17</sup> Les types 1 et 2 correspondent à des qualités de produits.

#### 4.5.1.2 Les chlorates

Les chlorates ont deux origines :

- ▶ Ils sont formés lors de la fabrication de l'hypochlorite de sodium : la norme EN 901 précise que la concentration en chlorate de sodium  $\text{NaClO}_3$  ne doit pas dépasser 5,4 % de chlore disponible.
- ▶ Ils sont formés lors du stockage des solutions d'hypochlorite : les solutions d'hypochlorite se dégradent et perdent leur titre. La formation de chlorures et chlorates est proportionnelle à la perte du titre. La dégradation est favorisée lorsque la température dans les locaux de stockage est élevée (30 à 35 °C). La dégradation estimée est d'environ 1 % du titre par semaine si la température de stockage est d'environ 20 °C. Si la température est de l'ordre de 30 °C, la perte de titre peut atteindre 1 % par jour. Pour une solution de concentration initiale  $150 \text{ g.L}^{-1}$  en chlore, la concentration en chlorates peut atteindre  $6 \text{ g.L}^{-1}$  au bout d'un mois.

Aujourd'hui en France, il n'existe pas de valeur limite pour la concentration en chlorates dans l'EDCH. L'OMS a fixé une recommandation à  $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$  de chlorates pour l'eau destinée à la consommation humaine.

Une étude récente (Ribeiro *et al.*, 2011) a montré que les concentrations en chlorates de 54 échantillons d'eaux de piscines traitées au dichloroisocyanurate ou à l'hypochlorite de sodium, variaient entre  $2,5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  et  $26,7 \text{ mg.L}^{-1}$ .

#### 4.5.1.3 Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des impuretés issues de la fabrication des produits de traitement de l'eau. Les principaux métaux lourds potentiellement présents dans les produits de traitements de l'eau sont l'antimoine (Sb), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le plomb (Pb), le nickel (Ni) et le sélénium (Se). Les concentrations maximales fixées pour ces substances dans les produits de traitement des eaux de piscines reprennent celles fixées pour l'eau destinée à la consommation humaine.

Les tableaux situés en annexe 7 résument les concentrations maximales autorisées pour ces composés. Ces concentrations sont en général calculées de telle sorte qu'au taux maximum de traitement, l'ajout maximal de polluant ne dépasse pas le 1/10 en limite de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

#### 4.5.1.4 Points à retenir

La qualité des réactifs utilisés pour le traitement des eaux de piscine est encadrée par des normes européennes et françaises relatives à la pureté des produits. Les réactifs utilisés lors du traitement des bains à remous doivent *a minima* respecter ces critères de pureté. La réglementation visant les bains à remous devra prescrire le respect de ces normes même si le risque lié à l'ingestion d'ions bromate et chlorate dans les bains à remous est faible.

### 4.5.2 Dangers liés aux matériaux

Depuis une décennie, se développent sur le marché français des bains à remous dont les parois ne sont pas recouvertes de céramique ou de membrane armée. Le bois ou l'inox sont utilisés pour la majorité d'entre eux. Ces matériaux peuvent se dégrader au contact de l'eau, réagir avec les produits de traitement de l'eau et former éventuellement des sous-produits potentiellement toxiques pour les baigneurs et le personnel. Il n'existe pas d'étude sur les interactions possibles entre les produits de traitement, de nettoyage et le bois, ni sur le vieillissement de ce dernier.

#### 4.5.2.1 Bassins en bois

Différentes essences de bois peuvent être utilisées pour construire un bain à remous (feuillus, résineux ou bois tropicaux).

Les bois sont traités par différents produits : des fixateurs de tanins pour éviter la coloration de l'eau et potentiellement celle de la peau des baigneurs, des vernis alimentaires (produits à base de polyuréthane, huile de lin, huile de chanvre) ou des saturateurs de bois. Seuls les produits de traitement du bois autorisés par la directive 98/8/CE relative à la mise sur le marché des produits biocides peuvent être utilisés.

Benoit *et al.*, (1987) ont montré que l'utilisation de bain à remous en bois favorisait la formation de trihalométhanes. Dans leur étude, les concentrations en bromoforme mesurées dans l'eau des bains à remous en bois désinfectés au brome variaient entre 1060 et 3600  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (moyenne 2 513  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) alors qu'elle était comprise entre 37 et 515  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (moyenne 456  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) pour les bassins en céramique et entre 82 et 3 210  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (moyenne 1 103  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) pour les bassins en résine acrylique.

Par ailleurs, sous l'effet de la température élevée de l'eau et de l'humidité, le bois peut se déformer avec le temps, laissant apparaître des fissures. Ces fissures sont des lieux propices au développement entre autre des moisissures et de certaines bactéries telles que *P. aeruginosa* (Kleeman *et al.*, 1983).

#### 4.5.2.2 Bassin en acier inoxydable

Actuellement plus de 40 établissements équipés de bassins en acier inoxydable ont été recensés en France (Chartres, Vichy, Saint Laurent de Mure, *etc.*).

On appelle acier inoxydable ou inox, un alliage fer-chrome-nickel dont la concentration en chrome est au minimum de 10,5 % et celle en carbone de 1,2 % au maximum (norme EN 10088-1). Suivant les composants qui le constituent et leur pourcentage, l'inox sera dit ferritique, austénique, austéro-ferritique ou martensitique. Pour les applications en piscine, les nuances utilisées sont principalement austéniques. L'acier inoxydable présente en fonction de sa composition une résistance à la corrosion et une grande flexibilité.

La résistance à la corrosion est due à la formation d'une couche d'oxydes dite « couche passive », riche en chrome, qui se forme naturellement à la surface du matériau dans des conditions oxydantes (oxygène de l'air ou dissout dans l'eau des bassins). Cette couche peut être endommagée notamment par les ions chlorure présents dans l'eau et provoquer la corrosion du bassin (CSTB, 2006). La corrosion peut se produire sur de petites surfaces privées d'oxygène comme les joints mécaniques ou les coins.

La concentration en ions chlorure, la température de l'eau et les conditions d'utilisation sont des paramètres à prendre en compte pour le choix de la nuance d'inox. Pour des teneurs en ions chlorure inférieures à 500 ppm, les nuances 316 et 316 L (normes américaines et normes européennes 1.4301/1.4307 – 1.401/1.4404 – 1.4404/1.4571) sont suffisantes. Dans le cas de bassins avec de l'eau minérale naturelle, de l'eau saline ou de l'eau de mer dont la concentration en ions chlorure est supérieure à 500 ppm, il est nécessaire d'utiliser des nuances d'acier inox présentant un alliage plus élevé.

La corrosion de l'inox peut également faciliter l'adhésion des biofilms et le relargage de substances toxiques comme le nickel. Le nickel est un allergène responsable de dermatite de contact et son ingestion peut aggraver de l'eczéma (Afssa, 2007). L'inhalation de nickel peut entraîner des troubles respiratoires, voire le développement d'asthme (ATSDR, 1997). La concentration maximale admissible dans l'EDCH par ingestion a été fixée à 20  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (Afssa, 2007). Afin de minimiser la concentration en nickel pouvant être relarguée par l'inox, un trempage du matériau peut être réalisé avant son utilisation.

#### 4.5.2.3 Points à retenir

Les conditions d'utilisation particulière des bains à remous (température de l'eau et concentration en désinfectant élevées) ainsi que la qualité de l'eau du bassin (EDCH, eau minérale naturelle, eau de mer) doivent conduire à une vigilance particulière sur le choix des matériaux du bassin.

Il est important de vérifier la compatibilité des matériaux avec les différents types d'eau alimentant les bains à remous. En effet, certaines eaux (eaux de mer en particulier) sont corrosives et provoquent rapidement des dégradations des matériaux entraînant le relargage dans certains cas de substances toxiques. Les interactions des matériaux avec les produits de traitements de l'eau devraient être également étudiées.

Il n'existe pas à ce jour de réglementation concernant les matériaux utilisés pour les piscines et les bains à remous. La question d'un cadre réglementaire semblable à celui visant les matériaux en contact avec l'EDCH se pose.

### 4.5.3 Dangers liés aux additifs

#### 4.5.3.1 Huiles essentielles et parfums

Certains gestionnaires de bains à remous ajoutent des huiles essentielles (HE) pour parfumer l'eau ou pour leurs propriétés de relaxation et de détente.

Les huiles essentielles sont un mélange complexe constitué de molécules aromatiques de faibles poids moléculaires. Elles sont volatiles et hydrophobes.

Il n'existe pas de réglementation française ou européenne traitant de l'utilisation des HE dans les bains à remous ou les piscines. Seule la directive européenne 2003/15/EC liste 26 substances identifiées comme causes importantes de réactions allergiques de contact. Parmi celles-ci, 16 se trouvent à l'état naturel dans plus de 150 HE.

Le CSP précise dans l'article L.4211-1 6 que « *la vente au détail et toute dispensation au public des huiles essentielles dont la liste est fixée par décret, ainsi que leurs dilutions et préparations ne constituant ni des produits cosmétiques, ni des produits à usage ménager, ni des denrées ou boissons alimentaires appartiennent au monopole pharmaceutique* ».

Le décret N°2007-1221 du 3 août 2007 relatif à ce monopole (art. D.4211-13 du Code de la Santé Publique) énumère les quinze HE qui doivent être délivrées uniquement en pharmacie :

A noter que le méthyleugénol et l'estragole sont reconnus comme substances génotoxiques (Décision 2002/113/CE du 23 Janvier 2002).

L'exposition aux HE lors de l'utilisation d'un bain à remous se fait principalement par inhalation et contact. Le passage des HE dans le sang via la muqueuse pulmonaire est favorisé.

Les études scientifiques montrent que les HE peuvent présenter une toxicité qui varie selon la voie d'exposition et la dose prise. Les données liées à la toxicité par ingestion d'HE disponibles chez l'homme ont été obtenues suite à l'ingestion accidentelle à fortes doses et principalement chez les enfants. Peu de données sont disponibles sur la toxicité des HE par contact. Les études ont montré principalement des effets irritants, allergisants et des réactions systémiques (Degryse *et al.*, 2008 ; Hammer *et al.*, 2005 ; Suguira *et al.*, 2000). Il apparaît cependant que compte tenu de la faible quantité d'HE utilisée dans les bains à remous et du caractère lipophile des HE, le risque lié aux HE par contact cutané semble mineur lors de l'exposition des usagers dans un bain à remous.

En revanche les risques liés à l'inhalation des HE sont mal documentés. Une étude a montré que l'utilisation des huiles essentielles conduit notamment à la libération de composés organiques volatils (COV) et d'aérosols dans l'air intérieur souvent plus irritant ou allergisant que la molécule initiale (Su *et al.*, 2006). L'étude de Su (2006) a montré la formation de COV tels que le linalol, l'eucalyptol, le d-limonène, le p-cymène et le 4-terpinéol, lors de l'évaporation d'HE d'arbres à thé, de lavande et d'eucalyptus durant les 30 premières minutes d'utilisation.

La recherche bibliographique n'a pas mis en évidence d'étude relative à la réactivité du chlore sur les huiles essentielles. Cependant, le chlore pourrait réagir avec les fonctions terpéniques ou aromatiques composant les HE pour former des sous-produits de désinfection.

Les effets sur la santé liés à l'inhalation des composés émis par les huiles essentielles (COV, monoxyde de carbone, particules de poussières, *etc.*) et par les éventuels sous-produits formés par combinaison des huiles essentielles et des produits de désinfection et/ou de la matière organique apportée par les baigneurs ne sont pas connus.

#### 4.5.3.2 Autres additifs

Afin de diversifier leurs activités et d'attirer une nouvelle clientèle, de plus en plus d'établissements et d'instituts de beauté proposent des bains à remous dans lesquels sont ajoutés différents additifs comme du lait, du miel, du chocolat, des colorants, *etc.*

Les résidus de ces composés peuvent se déposer dans le circuit hydraulique favorisant le développement de biofilms et l'encrassement.

En outre, l'interaction de ces additifs avec les produits de désinfection n'est pas connue tout comme leurs éventuels effets sur la santé compte tenu des conditions d'utilisation (température élevée, agitation de l'eau).

#### 4.5.3.3 Points à retenir

Le manque de données sur la toxicité des huiles essentielles et sur leurs éventuels effets sur la santé humaine ne permet pas de réaliser une évaluation des risques liés à cet usage et invite à la prudence quant à l'utilisation de ces composés dans les bains à remous. Un approfondissement des connaissances est nécessaire pour identifier la toxicité de ces substances pour un usage « bain à remous » (température de l'eau élevée, agitation de l'air importante, réaction avec les produits de désinfection, *etc.*).

De même des études semblent nécessaires pour connaître les éventuelles interactions entre les différents additifs qui peuvent être introduits dans les bassins et les produits de traitement de l'eau ou l'eau elle-même. Des études permettant d'écartier ou non des risques de dermatose en cas de contact prolongé avec le produit initial et/ou les sous-produits de dégradation doivent être également menées.

En l'attente des résultats d'étude, l'Agence ne peut recommander de telles pratiques.

## 5 Identification des voies d'exposition et des populations exposées

### 5.1 Voie d'exposition

Les voies d'exposition prépondérantes lors de la pratique de la baignade dans des bains à remous sont la voie respiratoire et la voie cutanéomuqueuse. L'ingestion semble être une voie d'exposition négligeable sauf en cas d'ingestion accidentelle d'eau notamment par les enfants.

#### 5.1.1 Voie respiratoire

Des études ont montré que la concentration la plus importante en sous-produits de désinfection se situerait dans les 30 premiers centimètres au dessus du niveau de l'eau (Hsu *et al.*, 2009 ; Simon-Rigaud *et al.*, 1997). Compte tenu de la position assise majoritairement adoptée lors de la fréquentation d'un bain à remous, la voie respiratoire dans les bains à remous semble donc être la voie majoritaire.

Compte tenu de la température généralement élevée de l'eau des bains à remous et de l'agitation de cette dernière, le passage des sous-produits de désinfection de la phase aqueuse à la phase aérienne est favorisé. Selon leur nature (gaz, vapeur ou aérosol), les sous-produits de désinfection vont pouvoir pénétrer dans l'arbre respiratoire (Bernard *et al.*, 2007). Par ailleurs selon leur nature, certains agents microbiologiques, peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans l'arbre respiratoire en fonction du mode de respiration, nasale ou orale et de la taille des microgouttelettes.

#### 5.1.2 Voie cutanéomuqueuse

La peau et les muqueuses peuvent être en contact direct avec les composés chimiques, les agents infectieux, les parois du bassin mais également les autres baigneurs.

Peu d'études ont montré le passage transcutané des sous-produits de désinfection. Il semble possible pour les THM, certains acides haloacétiques et les halocétones non polaires (OMS, 2000 ; Xu *et al.*, 2002 ; Kim *et al.*, 1998). Par ailleurs la température élevée de l'eau des bains à remous peut provoquer une dilatation des pores de la peau et faciliter la pénétration des composés chimiques dans l'organisme (Nodet, 2000).

Néanmoins, compte tenu de l'absence de méthodologie adaptée et de données toxicocinétiques l'évaluation des risques sanitaires par la voie cutanéomuqueuse n'a pas pu être considérée.

#### 5.1.3 Voie orale

La baignade dans un bain à remous a un objectif de bien être. Les baigneurs restent généralement assis dans le bassin. Le corps est immergé mais la tête reste hors de l'eau. L'ingestion d'eau est donc une voie minoritaire qui ne sera pas prise en compte dans la caractérisation des risques dans les bains à remous.

## 5.2 Populations exposées

Les bains à remous sont très fréquentés au regard du faible volume d'eau dans le bassin. Dans une piscine règlementée la fréquentation journalière est de l'ordre d'un baigneur/m<sup>3</sup> d'eau. Pour un bain à remous, cette fréquentation peut être de 10 à 100 fois supérieure.

Les populations pratiquant les baignades dans des bains à remous sont :

- ▶ les enfants (moins de 10 ans<sup>18</sup>) ;
- ▶ les adolescents (de 10 à 19 ans) ;
- ▶ les adultes ;
- ▶ les femmes enceintes ;
- ▶ les personnes âgées ;
- ▶ les immunodéprimés.

Les personnes en charge de l'entretien des bains à remous et le personnel de surveillance du fait de leurs expositions prolongées et répétées aux dangers identifiés dans le chapitre précédent sont également des populations pouvant être en contact avec l'air et l'eau des bains à remous.

Sont considérés comme population à risque, les personnes les plus prédisposés aux infections et aux dangers pré-cités ainsi que les populations plus fréquemment exposées.

Il s'agit :

- ▶ des enfants ;
- ▶ des individus immuno-déprimés ;
- ▶ des sujets fragilisés (blessure, mucoviscidose, diabète, etc.) ;
- ▶ des femmes enceintes ;
- ▶ des personnes âgées ;
- ▶ des personnes porteuses de lentilles.

### 5.2.1 Les professionnels

Le personnel technique et les maîtres nageurs sont assez peu en contact avec l'eau du bain à remous. La voie principale d'exposition est l'inhalation. L'exposition par voie cutanée est également à prendre en compte, en raison d'un contact possible avec des produits chimiques lors de leur manipulation et avec les surfaces des bains à remous lors des vidanges et nettoyage des bassins.

Le code du travail (article R.4222-3) précise que seules les particules dont la taille est inférieure ou égale à 100 µm, dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 m.s<sup>-1</sup>, sont prises en compte dans les risques d'inhalation pour les travailleurs (Code du travail, 2012d).

La directive 96/29/Euratom<sup>19</sup> a identifié le thermalisme comme étant une activité professionnelle pendant laquelle les travailleurs sont exposés à des sources naturelles de rayonnement comme le

---

<sup>18</sup> L'OMS définit un adolescent comme un jeune entre 10 et 19 ans. Dans le rapport, les experts ont considéré un enfant tout individu de moins de 10 ans.



radon. L'activité de thermoludisme et en particulier les bains à remous sont également une source d'exposition au radon qui peut se retrouver par dégazage dans l'atmosphère des établissements. Le personnel technique est aussi particulièrement exposé lors de son passage dans les galeries techniques souvent mal ventilées et où la concentration en radon peut être élevée (> 100 000 Bq.m<sup>-3</sup>).

Par ailleurs, en France, depuis 2003, trois pathologies rencontrées chez le personnel exposé « aux dérivés aminés des produits chlorés tels que les chloramines dans les piscines », peuvent être reconnues comme maladie professionnelle au titre du tableau n°66 A du régime général de la Sécurité Sociale (Journal Officiel de la République Française, 2003). Ce sont :

- ▶ « la rhinite récidivante en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmée par test » ;
- ▶ « l'asthme objectivé par explorations fonctionnelles respiratoires, récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmé par test » ;
- ▶ « l'insuffisance respiratoire chronique obstructive secondaire à la maladie asthmatique ».

Les pneumopathies d'hypersensibilité peuvent être reconnues comme maladie professionnelle au titre du tableau 66bis. Parmi la liste indicative des travaux exposants à ces pneumopathies et susceptibles d'être reconnues comme maladies professionnelles, figurent les travaux réalisés dans les milieux contaminés par des micro-organismes aéroportés (bactéries, moisissures, algues) tels que les saunas et les piscines mais les bains à remous n'y figurent pas.

Les mycoses cutanées peuvent être reconnues également comme maladie professionnelle au titre du tableau n° 46 (ou bien : sont inscrites au tableau 46) du régime général de la sécurité sociale en particulier celles spécifiquement désignées comme « mycoses des orteils » (tableau 46 C) mais seulement pour les « travaux exécutés dans les bains et piscines : surveillance de baignade, application de soins dans les stations thermales, les établissements de rééducation ».

### 5.2.2 La population générale

Le manque de données scientifiques permettant de décrire précisant l'exposition des différentes populations fréquentant les bains à remous (durée de baignade, fréquence, etc.) ont conduit les experts à ne pas proposer de scénarii d'exposition pour la population générale.

Cependant, les enfants présentent une surface corporelle par rapport à leur poids proportionnellement plus grande que celle des adultes. De même, leur surface alvéolaire par rapport à leur taille est également plus importante. L'exposition par contact cutané ou par inhalation aux sous-produits de désinfection et aux micro-organismes pourrait donc être plus importante chez les enfants que chez les autres populations fréquentant les bains à remous.

---

<sup>19</sup> Directive 96/29/[Euratom](#) du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.

## 6 Discussion

En raison de la température élevée de l'eau, de la promiscuité entre baigneurs, du faible volume de ce type de bassins, du taux de recyclage de l'eau généralement insuffisant, et de la difficulté à maintenir une teneur en résiduel de désinfectant suffisante (OMS, 2000), les bains à remous constituent un écosystème particulier qui offre des conditions favorables à la survie de nombreux micro-organismes dont des pathogènes ou des pathogènes opportunistes: *Escherichia coli* et autres bactéries coliformes, *Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, amibes libres, mycobactéries non tuberculeuses, etc.. Les pathologies liées aux bains à remous sont nombreuses et largement citées dans la littérature (Alhajj *et al.*, 2009 ; Hogan, 1997 ; Yu *et al.*, 2007 ; Tolentino *et al.*, 1996) : pneumopathie, folliculite, etc. La dissémination aéroportée de certains micro-organismes n'est également pas à exclure, mais très peu d'études ont été menées sur ce sujet.

Les bains à remous peuvent également conduire à la formation de SPD dont les concentrations sont parfois très importantes par rapport à celles généralement retrouvés dans l'eau ou dans l'air des piscines réglementées. La volatilisation du désinfectant, la cinétique de formation et la volatilisation de certains SPD sont favorisées tout comme l'aérosolisation de certains SPD, peu ou non volatils, mais qui, par migration au sein de gouttelettes d'eau, pourrait diffuser dans la phase aérienne et être inhalés par les usagers. Le rapport souligne la diversité de ces sous-produits susceptibles d'être formés dans l'eau et/ou dans l'air des bains à remous en fonction de l'origine de l'eau. Cependant, l'absence de données disponibles sur la composition chimique des aérosols des bains à remous ne permet pas à ce jour une identification précise de la composition des micro-gouttelettes ni une quantification des dangers associés quel que soit le type d'eau alimentant le bain à remous.

La nature des sous-produits chimiques et la survie de certains micro-organismes dépendront de la nature et des caractéristiques de l'eau d'alimentation.

Le peu d'études disponibles sur les eaux et l'air des bains à remous, que ce soit du point de vue microbiologique ou chimique, n'a pas permis aux experts de conduire l'évaluation qualitative ou quantitative d'évaluation des risques liés à la fréquentation des bains à remous à son terme. Toutefois, il ressort que la voie respiratoire est la voie d'exposition majeure pour les usagers des bains à remous, suivie de la voie cutanée (risque microbiologique principalement).

Les experts souhaitent également attirer l'attention sur plusieurs composés et micro-organismes qui de par leur toxicité pour l'homme ou leur pathogénéicité devraient être suivis d'un point de vue sanitaire.

### 6.1 Les sous-produits de désinfection

► Avec l'EDCH :

Les sous-produits jugés prioritaires dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) peuvent être repris dans ce rapport, en particulier :

- **La trichloramine** qui est considérée actuellement comme la principale molécule responsable des troubles irritatifs rapportés par le personnel des piscines et qui dans le cas de l'atmosphère des bains à remous présentent des concentrations pouvant dépasser 1 mg.m<sup>-3</sup> (Hery, 1995) ;
- **Les trihalométhanes** : une attention particulière doit être portée aux trihalométhanes et en particulier au chloroforme reconnu comme cancérigène possible dont le dégazage est favorisé compte tenu de la forte agitation de l'eau et de sa température élevée. Le bromoforme, le bromodichlorométhane et le dibromochlorométhane sont également à considérer dans le cas d'eaux d'alimentation riches en bromures ;

- **Les acides haloacétiques** : ces substances présentent des effets cancérigènes et reprotoxiques. Elles sont également présentes en forte concentration dans l'eau mais peu volatiles. Toutefois, aucune étude sur la formation d'aérosols chimiques dans les bains à remous n'a été menée à ce jour : il est probable que ces composés puissent migrer dans l'air par diffusion au sein de gouttelettes et/ou d'aérosols ;
- **Les haloacétonitriles** qui trouvent des conditions propices à leur formation dans les bains à remous (température élevée, concentration en matières organiques azotées), sont reconnus comme génotoxiques et cancérigènes.

► Avec l'eau de mer :

- **Les bromamines** : elles sont moins irritantes pour les yeux et la peau que les chloramines (Flahaut, 1977). La tribromamine est un irritant pulmonaire (Massin *et al.*, 1998) ;
- **Les sous-produits bromés** : Les sous-produits de désinfection retrouvés dans l'eau de mer sont généralement des produits bromés. Bien qu'il existe peu de données d'exposition à l'heure actuelle sur la présence de ces composés dans les bains à remous alimentés par l'eau de mer, ces molécules sont à considérer car leur toxicité semble supérieure aux analogues chlorés (Hsu *et al.*, 2001 ; Richardson *et al.*, 2007 ; Fabricino and Korshin, 2009 ; Lee *et al.*, 2009).

► Avec l'EMN :

L'ensemble des sous-produits cités dans le cas des bains à remous alimentés par l'EDCH sont également à prendre en compte lors des activités de thermoludisme. Compte tenu de la composition physico-chimique de certaines de ces eaux, d'autres sous-produits doivent être considérés lors d'une évaluation du risque. Cependant il n'existe pas de données sur les possibles interactions des désinfectants avec ces eaux. Il est donc impossible actuellement de lister les produits qui présenteraient une toxicité pour le baigneur et/ou le personnel. L'évaluation du risque doit se faire au cas par cas en fonction des caractéristiques de l'eau minérale naturelle.

Il est à noter, en outre, qu'étant donné les caractéristiques spécifiques des eaux alimentant les bains à remous dans le cadre de l'activité de thermoludisme, le maintien de la teneur en désinfectant résiduel sur ces eaux aux profils physico-chimiques particuliers (soufre, arsenic, chlorures, *etc.*) est difficile à assurer par les gestionnaires, notamment de part la nécessité de « surchlorer » les eaux pour atteindre le taux de résiduel en désinfectant prescrit dans la réglementation.

## 6.2 Les micro-organismes pathogènes

Une grande partie des micro-organismes identifiés dans le rapport présentent une sensibilité aux désinfectants en adéquation avec les concentrations autorisées dans les piscines réglementées alimentées par de l'EDCH. Toutefois, dans le cas des bains à remous, compte tenu de la température de l'eau, de l'agitation de cette dernière et du faible volume d'eau rapporté au nombre d'usagers fréquentant ces bassins, il s'avère souvent difficile de maintenir de façon permanente une teneur en désinfectant satisfaisante.

D'autres micro-organismes (MNT, amibes libres, légionelles, *etc.*) possèdent une résistance accrue au chlore (et probablement au brome) et peuvent survivre même lorsque la chloration du bain à remous est correcte et constante. De plus, des biofilms sont souvent présents dans ces équipements et participent à la contamination microbiologique des bains à remous. Enfin, les niveaux d'exposition et d'infectiosité des micro-organismes sont inconnus et les reports de cas souvent absents dans les bains à remous alimentés par des eaux différentes de l'EDCH. Il devient donc difficile, dans ces conditions, de conclure quant au risque microbiologique associé à l'usage des bains à remous.

Cependant les experts souhaitent attirer l'attention sur certains micro-organismes qui sont soit à l'origine de pathologies importantes ou qui sont fortement susceptibles d'être retrouvés dans l'eau, l'air ou les surfaces des bains à remous mais également au niveau des surfaces attenantes (sols, surfaces, douches) :

- ▶ ***Legionella pneumophila*** est responsable de 90 % des légionelloses en France et le sérotype 1 de cette espèce est associé à 80 % des cas (Demillac, 2005). Leur température de croissance est comprise entre 20 °C et 45 °C pour un pH proche de la neutralité. Les bains à remous constituent de par leurs spécificités (teneur en matière organique importante, température de l'eau élevée, pH neutre, biofilm) un terrain favorable à leur développement. De plus, leur présence et leur survie dans les aérosols ont été montrées (Jarraud *et al.*, 2000).
- ▶ ***Pseudomonas aeruginosa*** trouve également dans les bains à remous des conditions idéales de développement puisque sa température de croissance est comprise entre 20 °C et 42 °C (Husson, 2000). Leur présence, leur survie et leur développement ont été démontrées dans les biofilms. Les pathologies cutanées associées à *Pseudomonas aeruginosa* sont généralement bénignes chez les sujets sains mais peuvent devenir sérieuses chez les sujets immunodéprimés. De plus c'est l'une des rares bactéries pathogènes à survivre dans les eaux salées.
- ▶ ***Staphylococcus aureus*** est une bactérie naturelle de la sphère ORL et cutanée des porteurs sains. Les bains à remous sont propices à son développement du fait de la température de l'eau élevée et de la promiscuité des baigneurs. La probabilité de sa présence dans l'eau des bains à remous, son aptitude à coloniser la peau facilement et sa capacité à induire des infections, font de *S. aureus* une bactérie dont le risque pour les baigneurs est à considérer. De plus, son caractère halophile lui permet de survivre voire de se développer dans l'eau de mer.
- ▶ **Mycobactéries non tuberculeuses (MNT)** sont adaptées au milieu hydrique, particulièrement résistantes au chlore, aptes à être hébergées dans les amibes et à former des biofilms. Certaines espèces sont connues pour être thermophiles. Elles survivent de plus, dans les aérosols, nombres d'affections étant acquises par inhalation. Certaines MNT peuvent être à l'origine d'infections cutanées après contact sur une peau lésée.
- ▶ **Amibes libres** : Un certain nombre de cas d'infections dues à des amibes libres (avec deux genres majoritaires *Acanthamoeba* et *Naegleria*) est rapporté comme étant lié aux activités de baignades (piscines classiques ou atypiques) (Heggie, 2010). La majorité des *Acanthamoeba* sont connus pour être peu thermophiles, à l'inverse de *Naegleria fowleri*. Seules des kératites ont, toutefois, été associées avec les bains à remous (Jacobs *et al.*, 1984).
- ▶ S'agissant des **virus** responsables des kérato-conjonctivites et des affections cutanées, des moisissures et des levures, l'absence de données spécifiques aux bains à remous ne permet pas de se prononcer quant au risque sanitaire qu'ils représentent.

Les paramètres proposés pour le contrôle sanitaire doivent non seulement être en adéquation avec les dangers cités ci-dessus mais également permettre de disposer d'indicateurs d'efficacité de traitement et être détectés et dénombrés à l'aide de méthodes simples, standardisées et peu coûteuses.

Pour les micro-organismes pouvant être aéroportés dans les aérosols (*Legionella*, MNT ou bien encore les moisissures), une alternative intéressante à l'analyse de l'eau serait l'analyse de l'air à proximité des bains à remous. La flore microbienne présente dans l'air peut être mesurée par bio-impaction sur milieux gélosés ou bien concentrée dans un échantillon liquide grâce au principe du cyclone à parois humides (collecte des particules de 0,5 µm à 20 µm). Toutefois, ces méthodes de mesurages des micro-organismes dans l'air ne sont pas encore standardisées (temps de

prélèvements, choix des points de prélèvement, etc). De plus, il n'existe pas à l'heure actuelle de limites réglementaires dans l'air pour des paramètres microbiologiques d'intérêt dans les bains à remous.

Telles sont les raisons pour lesquelles les recommandations émises dans le chapitre suivant porteront d'une part sur un indicateur bactériologique d'efficacité de traitement (*Escherichia coli*), dont la pertinence pour représenter également le risque d'origine fécale est communément admise, et d'autre part, des agents microbiens présentant un risque sanitaire : *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Legionella* dont *Legionella pneumophila*.

Concernant le risque associé aux MNT, compte tenu de la diversité des espèces de MNT et des différences dans leur pathogénicité, il s'avère difficile de proposer une valeur paramétrique. De plus, la méthode de détection par culture est beaucoup trop longue pour être utilisée dans le cadre d'un contrôle réglementaire, et celles par biologie moléculaire ne sont pas encore assez standardisées.

De même, la recherche des amibes libres dans les eaux ne peut être retenue, car il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode normalisée. De plus, comme précédemment, il n'est pas aisé de définir une valeur pertinente en raison de la diversité des espèces et des différences dans leur virulence.

Toutefois, il est proposé de rechercher ces paramètres en cas de circonstances particulières (contamination manifeste, pathologie déclarée, etc.).

## 7 Recommandations

Afin de limiter l'exposition des baigneurs et du personnel aux dangers chimiques et microbiologiques identifiés dans le rapport, l'Agence propose des recommandations portant notamment sur :

- ▶ l'hygiène des baigneurs ;
- ▶ les règles d'usage ;
- ▶ la gestion des bains à remous (qualité de l'eau et de l'air).

### 7.1 Mesures visant les baigneurs

Les bains à remous sont des bassins de petit volume et de faible profondeur dans lesquels la forte fréquentation crée un apport constant et élevé de matières organiques. Or, une forte teneur en matières organiques associée à une température élevée de l'eau, une concentration en désinfectant fluctuante constituent un terrain propice à la prolifération des micro-organismes ainsi qu'à la formation de sous-produits de désinfection.

L'hygiène des baigneurs a donc un impact encore plus important que dans le cas des piscines réglementées sur la qualité de l'eau et de l'air de ces bassins. La sensibilisation des usagers et des exploitants aux règles d'hygiène corporelles élémentaires devient essentielle.

L'Agence reprend donc l'ensemble des recommandations liées à l'hygiène citées dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) et rappelle que ces règles simples permettent de réduire les contaminations de l'eau et de l'air et la consommation de produits de traitement de l'eau :

- ▶ le respect des zones de déchaussage spécifiques qui permet de réduire considérablement la zone de chevauchement pieds nus / pieds chaussés ;
- ▶ l'utilisation d'un maillot de bain exclusivement réservé à cet effet ;
- ▶ le port d'un bonnet de bain ou, au minimum, l'obligation d'attacher les cheveux ;
- ▶ le respect des précautions intimes avant la baignade (passage aux toilettes) ;
- ▶ l'interdiction d'utilisation de produits cosmétiques ;
- ▶ l'obligation de prendre une douche savonnée avant d'accéder aux bassins ;
- ▶ le passage obligatoire par un pédiluve ;
- ▶ le respect de la FMI. L'Agence préconise que la FMI pour un bain à remous soit exprimée en baigneurs par unité de volume (et non pas par unité de surface), en raison de la faible profondeur des bains à remous, et qu'une fréquentation maximale journalière (FMJ) soit associée à chacun des bains à remous. Cette FMJ devrait permettre en période d'activité continue que le bain à remous fonctionne à 80 % de son activité maximale afin de permettre un traitement de l'eau satisfaisant.

Cette FMJ peut être exprimée en nombre de m<sup>3</sup>/baigneur selon la relation suivante :

$$v = \frac{V \times n}{N}$$

Avec  $v$  : volume d'eau par baigneur en m<sup>3</sup>

$V$  : volume du bassin en m<sup>3</sup>

$n$  : renouvellement des baigneurs en h<sup>-1</sup>

$N$  : nombre de baigneurs par heure

Soit pour un bassin de 2 m<sup>3</sup> pouvant contenir 5 personnes et dont la durée de baignade est fixée à 15 minutes, le volume d'eau par baigneur serait de 0,4 m<sup>3</sup>.

L'Agence propose de porter cette valeur à 0,5 m<sup>3</sup> par baigneur pour un bassin de 2 m<sup>3</sup> afin d'optimiser le traitement de l'eau du bassin.

Enfin, l'Agence déconseille le port des lentilles de contact pendant la baignade en bain à remous. En effet la présence d'aérosols peut favoriser les risques de conjonctivites ou de kératites impliquant des micro-organismes tels que *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acanthamoeba*. En outre, au regard des risques identifiés, les lentilles de contact peuvent être une source d'aggravation de pathologies oculaires liées aux effets irritants de certains sous-produits de désinfection présents dans l'eau et/ou dans l'air.

## 7.2 Agencement, entretien et nettoyage des locaux et des installations

Les bains à remous étant généralement installés dans des établissements possédant plusieurs types de bassins, l'Agence recommande de suivre les mesures liées à l'agencement, l'entretien et le nettoyage des locaux préconisées dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) qui permettent de limiter les salissures et faciliter les opérations d'entretien et de nettoyage. L'Agence recommande les nettoyages mécanisés (auto-laveuse par exemple).

Pour les établissements ne possédant qu'un ou plusieurs bains à remous, l'Agence préconise :

- ▶ d'établir une circulation des baigneurs, de type « marche en avant », en évitant le croisement du « circuit sale » et du « circuit propre » ;
- ▶ de surélever légèrement les bassins par rapport au niveau du sol afin d'éviter tout ruissellement d'eau sale vers le bain à remous et de prévoir des pentes de sols favorisant l'écoulement des eaux de ruissellement et de lavage vers des rigoles spécifiques ou des bondes d'évacuation pour éviter toute stagnation ou déversement d'eau dans les bains. Ces dispositifs de collecte doivent être conçus pour permettre leur entretien quotidien ;
- ▶ d'utiliser des revêtements de sol appropriés, robustes, antidérapants et faciles à nettoyer ;
- ▶ d'installer une plage périphérique au bassin accessible uniquement aux baigneurs, pieds nus ;
- ▶ de nettoyer et désinfecter les parois et le fond du bassin lors de sa vidange quotidienne; les circuits des systèmes de bullages et d'alimentation en eau doivent subir le même traitement.

L'Agence recommande également l'installation de pédiluves et de douches quel que soit l'établissement où se situe le bain à remous. Les pédiluves et les douches doivent être conçus pour être empruntés obligatoirement et aisément notamment pour les usagers à mobilité réduite. De plus, le pédiluve doit être alimenté en eau circulante et désinfectante comme le recommande la DGS dans sa circulaire DGS/EA4/2010 du 27 juillet 2010.

Par ailleurs l'Agence recommande pour les bains à remous, une hydraulité inversée : arrivée d'eau par le fond et au niveau des parois et un départ des eaux de recyclage par surverse dans une goulotte périphérique. Ces eaux de surverse sont ensuite recueillies dans un bac tampon. Afin de faciliter le nettoyage du bac tampon, il doit être constitué de matériaux lisses (carrelage, liner, etc.) et facilement accessible au personnel d'entretien.

Les matériaux au contact de l'eau des bassins (parois, circuit hydraulique) ne doivent pas dégrader sa qualité. Ils doivent être neutres par rapport aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation du bassin et ne doivent pas provoquer de multiplication des micro-organismes. Le choix du matériau doit être déterminé en fonction de l'agressivité de l'eau et de l'action corrosive liés aux produits et procédés utilisés (traitement, désinfection, nettoyage).

En outre, ces matériaux ne doivent pas présenter d'aspérités pour réduire la formation de biofilm et faciliter le nettoyage.

En raison de l'absence de données relatives au vieillissement du bois, aux éventuelles interactions avec le chlore et de son aptitude à favoriser la croissance de certains micro-organismes telles les moisissures, l'Agence préconise l'interdiction de ce matériau.

Enfin, l'Agence propose que l'utilisation des produits de nettoyage soit encadrée réglementairement pour les usages en bassin récréatif (bassin de natation, bassin ludique, *etc.*) et en particulier dans les bains à remous (sols, bac tampon, bassin, *etc.*) comme le sont les produits de désinfection des eaux de piscines.

### 7.3 Traitement de l'eau

Ce chapitre propose des mesures qui visent à optimiser la gestion de la qualité de l'eau quelle que soit son origine. Les principales actions à mettre en œuvre sont les suivantes :

#### ► Les pédiluves

L'Agence recommande que les pédiluves soient alimentés par une eau courante et désinfectante non recyclée. La meilleure solution est d'alimenter les pédiluves par de l'eau des bassins en la surchlorant pour maintenir une concentration de chlore résiduel de 5 mg.L<sup>-1</sup>.

#### ► Le bac tampon

Pour garantir en permanence la qualité de l'eau des bains à remous et la propreté du bassin, l'Agence recommande que l'installation d'un bac tampon soit rendu obligatoire et que ce dernier soit conçu dans les règles de l'art permettant ainsi un entretien régulier et aisé. Le bac tampon devra être dimensionné de telle façon que son volume soit suffisant pour « amortir » notamment les fluctuations du traitement de désinfection liées à la typologie de la fréquentation (forte fréquentation, fréquentation discontinue, *etc.*). Le bac tampon doit être équipé d'une puissante ventilation mécanique (stripage) pour évacuer les SPD volatils vers l'extérieur et éviter ainsi la dispersion de cet air pollué dans l'enceinte de l'établissement (locaux techniques notamment). Ces rejets doivent être éloignés des prises d'air de l'établissement et des tiers qui pourraient être incommodés par cet air chargé en composés halogénés. Dans des circonstances particulières (zone dense en habitat, *etc.*) un traitement de l'air extrait peut s'avérer nécessaire.

Un biofilm pouvant se créer rapidement au niveau des parois du bac tampon – induisant également une décantation des dépôts- un nettoyage au minimum hebdomadaire de ce dernier est préconisé.

Pour les installations existantes qui ne sont pas équipées de bac tampon, l'Agence préconise l'installation dans l'année d'un disconnecteur pour éviter les phénomènes de retour d'eau vers le réseau d'alimentation et dans les 3 à 5 ans celle du bac tampon.

#### ► La filtration

L'Agence réitère la demande d'une évolution du cadre réglementaire encadrant cette étape du traitement de l'eau.

La filtration de l'eau est une étape cruciale du traitement. L'Agence insiste sur la nécessité de mettre en place une filtration performante. Dans le cas d'une filtration sur sable, l'adjonction d'un coagulant doit être rendue obligatoire. La vitesse de filtration préconisée pour ce type de filtre est de l'ordre de 10 à 20 m.h<sup>-1</sup>.

Afin de garantir l'efficacité de la filtration, l'Agence recommande le suivi en continu de la turbidité comme indicateur de résultat d'une bonne filtration et également d'intégrer ce paramètre au contrôle sanitaire. Une valeur maximum de 0,3 NFU en sortie de filtre est recommandée quelle que soit l'origine de l'eau.



► La désinfection

L'Agence reprend les recommandations relatives aux conditions d'utilisation des produits de désinfection décrites dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a).

Par ailleurs, l'installation d'une régulation automatique de la désinfection et du pH couplée à une surveillance renforcée doit être rendue obligatoire ainsi qu'un suivi attentif du traitement de l'eau pour maintenir une bonne stabilité de la teneur en désinfectant et du pH. Dans l'attente de la mise en conformité de l'ensemble des installations, une surveillance accrue du gestionnaire devrait être mise en place notamment lors de forte fréquentation du bain à remous.

L'Agence recommande que les réactifs utilisés lors du traitement de l'eau des bains à remous respectent les critères de pureté définis dans les normes européennes et françaises relative à la qualité des produits de traitement des eaux de piscine. Le stockage, la manipulation et l'injection de produits de désinfection et des autres produits chimiques de traitement (neutralisants du pH, coagulant, *etc.*) nécessitent la mise en place de mesures de sécurité appropriées pour préserver la santé et la sécurité du personnel de la piscine et des usagers : séparer les produits, créer des bacs de rétention, identifier les produits, utiliser des locaux appropriés et équipés ainsi que des équipements de protection individuelle adaptés pour le personnel, *etc.*

► Le recyclage de l'eau

Compte tenu du faible volume des bains à remous et de la forte fréquentation, la qualité de l'eau des bassins peut se dégrader rapidement. Afin d'éliminer efficacement les sous-produits de désinfection et notamment les amines halogénées, l'Agence fixe la durée de recyclage du volume total du bassin à 15 minutes quelle que soit sa taille.

L'installation sur le circuit de recyclage de l'eau d'un compteur, équipé de préférence d'un enregistreur, permettrait de contrôler le recyclage.

Afin de garantir une stabilité des concentrations en désinfectant, l'Agence préconise le recyclage commun des eaux du bac tampon et des eaux d'un autre bassin lorsque cela est possible.

► Les vidanges

Les pédiluves, les bassins et les hydrojets doivent être vidangés quotidiennement. La vidange doit être accompagnée d'un nettoyage et d'une désinfection complète des installations.

Les eaux de vidanges doivent être dirigées vers le réseau d'eaux pluviales quelle que soit l'origine de l'eau d'alimentation. Une neutralisation préalable du désinfectant par du thiosulfate de sodium ou de l'acide ascorbique doit être réalisée.

Concernant les bains à remous alimentés par l'eau de mer et le risque de rejet d'ions chlorure en grande quantité dans le milieu récepteur, les eaux de vidange doivent également être rejeté dans le réseau pluvial allant directement en mer. Dans le cas d'un rejet dans un cours d'eau, en bordure de mer, ce cours d'eau est généralement affecté par la marée (pour l'océan atlantique, la manche et la mer du nord) et le milieu récepteur ne sera pas affecté par ce rejet. Cependant en fonction de la sensibilité du milieu récepteur (canalisation, cours d'eau, *etc.*) une modulation du rejet peut être nécessaire dans certains cas pour le débit et la température de l'eau rejetée entre autres.

► Le renouvellement d'eau

Compte tenu de la durée de recyclage de l'eau de 15 minutes et de la vidange quotidienne, un apport d'eau neuve spécifique au bain à remous n'est pas nécessaire.

► Les traitements complémentaires

Compte tenu des vidanges quotidiennes, l'utilisation de produits algicides est inutile dans les bains à remous.

► Le bullage

L'air utilisé pour pulser l'eau doit être de l'air neuf dont la prise est située à l'extérieur. Le circuit hydraulique des hydrojets et des aérojets doit être accessible et démontable afin de permettre leur lavage et leur désinfection.

Lorsque le bain à remous est équipé d'aérojets, et que le système n'est pas en fonctionnement, l'eau du bassin peut pénétrer dans le système et stagner favorisant la formation de biofilms et de champignons. L'Agence recommande que le système soit accessible afin d'en permettre la désinfection lors de chaque vidange. Lorsque ceci n'est pas possible, les aérojets doivent être équipés de clapets anti-retours d'eau.

L'ensemble des recommandations en termes de traitement de l'eau préconisées par l'Agence peuvent entraîner des modifications importantes de certaines installations. L'Agence propose que la mise en conformité des installations soit réalisée au plus tard dans un délai de 5 ans.

## 7.4 Additifs

Concernant l'utilisation d'additifs tels que le lait, le miel, le chocolat, *etc.*, l'Agence recommande l'interdiction de cette pratique. En effet, l'ajout de tels composés dans l'eau du bassin peut favoriser le développement des micro-organismes notamment par l'apport de glucides, protéines et lipides. Ces pratiques peuvent également contribuer au développement de biofilm. L'interdiction porte également sur l'utilisation des huiles essentielles dont les interactions avec le chlore ne sont pas connues actuellement.

## 7.5 Recommandations d'usage

L'Agence reprend la recommandation proposée par la circulaire DGS/EA4/2010 289 du 27 juillet 2010 relative à la prévention des risques infectieux dans les bains à remous et recommande une durée maximale de baignade de 15 minutes. Les usagers et en particulier les femmes enceintes doivent être informés par voie d'affichage de la durée de la baignade conseillée et des risques encourus lors de la baignade dans un bain à remous.

L'Agence préconise que toute personne fréquentant un bain à remous maintienne la tête hors de l'eau en position assise. De fait, compte tenu de la profondeur des bains à remous (entre 1 m et 1 m 35) et de la taille moyenne des enfants définie par l'OMS (1 m 30), l'Agence déconseille l'accès aux bains à remous aux enfants de moins de 10 ans.

Par ailleurs, il convient d'interdire l'accès aux bains à remous aux personnes présentant des plaies non entièrement cicatrisées. De même, un avis médical apparaît essentiel pour les sujets immuno-déprimés avant toute fréquentation de ce type d'équipement.

L'Agence recommande que la température des bains à remous soit limitée afin de restreindre la formation de SPD, notamment de la trichloramine, et pour éviter une trop grande volatilisation du désinfectant et des SPD. La prolifération des germes potentiellement présents sera également moindre. De plus, la littérature fait état de cas de malformation du fœtus pour des baignades dans des bassins dont la température de l'eau est supérieure à 39 °C. Considérant que les sondes de température actuellement sur le marché permettent des régulations de température à plus ou moins 2 °C, l'Agence recommande de retenir une température de l'eau « guide » de l'ordre de 32-33 °C, et une limite supérieure impérative de 36 °C.

L'Agence rappelle que l'utilisation de bains froids est souvent combinée avec une activité hammam ou sauna, et qu'au-delà des risques liés à une immersion non active dans un bain à remous à des températures inférieures à 15 °C pendant plus de 10 minutes, les variations brutales de température peuvent entraîner un ralentissement du rythme cardiaque.

## 7.6 Qualité de l'eau

Les mesures concernent la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau. Elles varient en fonction de l'origine de l'eau.

### 7.6.1 Qualité de la ressource

Outre l'EDCH, l'eau de mer ou l'EMN, certains établissements sont amenés à utiliser des eaux d'autres origines pour alimenter les bains à remous ; l'Agence souligne que l'utilisation de ce type d'eau ne peut être envisagée qu'au cas par cas après autorisation des autorités sanitaires et préfectorales locales.

Concernant l'eau de mer, l'emplacement du point de captage doit être le résultat d'une étude permettant d'apprécier l'exposition aux contaminants chimiques et microbiologiques (apport liés aux activités nautiques, à l'influence du mélange avec des eaux douces estuariennes, *etc.*).

Au vu de la fluctuation potentielle de la qualité de l'eau de mer (prolifération algale, déchets, traces d'hydrocarbures, *etc.*) des protocoles et des procédures précis de surveillance sont à prévoir :

- ▶ visite de la prise d'eau, observations sur site ;
- ▶ mesure de paramètres physico-chimiques à l'entrée de l'eau de mer dans l'établissement (pH, conductivité, température, transparence, odeur, *etc.*) ;
- ▶ vérification des données du REPHY relatives aux dinoflagellées ;
- ▶ surveillance de l'absence de prolifération algale.

Par ailleurs, l'Agence conseille qu'une évaluation des risques sanitaires soit réalisée avant l'ouverture d'un établissement souhaitant utiliser de l'eau autre que de l'EDCH afin de vérifier les éventuelles interactions entre les produits de traitement de l'eau et l'eau elle-même dans le but de proposer la mise en place d'un traitement adapté.

### 7.6.2 Qualité de l'eau du bassin

L'Agence rappelle que l'ensemble des bains à remous doivent être alimentés en continu par une eau désinfectée et désinfectante.

L'Agence propose des limites de qualité d'eau pour les bains à remous. Ces seuils sont identiques quelle que soit l'origine de l'eau.

#### 7.6.2.1 Paramètres physico-chimiques.

- ▶ Teneur en matières organiques

L'Agence propose comme pour les piscines réglementées que la mesure du carbone organique total (COT) remplace la mesure de l'indice  $\text{KMnO}_4$  et qu'une limite de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  soit fixée.

- ▶ pH

L'agence recommande pour les bassins alimentés par des eaux riches en ions bromure des valeurs de pH comprises entre 7,8 et 8,2 (forme  $\text{HOBr}/\text{BrO}^-$  majoritaire) et de maintenir les valeurs actuelles de pH entre 6,9 et 7,7 pour les autres types d'eau (forme  $\text{HOCl}/\text{ClO}^-$  majoritaire) afin d'optimiser l'efficacité de la désinfection.

- ▶ Chlore combiné

Il est proposé de maintenir la limite actuelle de  $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$  en chlore combiné dans l'eau des bains à remous alimentés par l'EDCH ou l'EMN.

► Brome combiné

Le suivi des bromamines doit être réalisé dans les bains à remous alimentés par l'eau de mer ou de l'eau riche en bromures afin de recueillir des données d'exposition permettant par la suite d'établir une valeur seuil pour ce paramètre. Le suivi du brome combiné peut être réalisé par un dosage au rouge de phénol ou à la DPD.

► Concentration en trihalométhanes

Compte tenu des concentrations moyennes en THM retrouvées dans les eaux et dans l'air des bains à remous, l'Agence recommande de fixer une valeur limite de 20 µg.L<sup>-1</sup> en THM totaux comme elle est actuellement en vigueur dans les piscines allemandes (DIN 19643-1). Cette valeur, plus stricte que celle proposée pour les piscines réglementées (100 µg.L<sup>-1</sup>), s'explique par le fait que le bullage et la température de l'eau facilitent le passage des THM de la phase eau à la phase gaz (Lourencetti *et al.*, 2010 ; Aprea *et al.*, 2010 ; Hsu *et al.*, 2009), et par voie de conséquence, l'inhalation de plus grandes concentrations de THM qu'en piscines réglementées. De plus, l'OMS rapporte que la teneur en THM est toujours plus élevée à 20 cm de l'eau qu'à 1,50 m (OMS, 2006). La limitation des teneurs autorisées dans l'eau a donc pour objectif de limiter leurs teneurs dans la phase gaz.

► Le radon :

En raison de sa grande volatilité, le radon peut être facilement éliminé des circuits d'eau par la mise en place de cascade d'eau au niveau du bac tampon, afin de faciliter son dégazage. Des mesures de l'activité volumique pourraient être mises en place dans les établissements concernés selon les protocoles établis par l'IRSN pour les établissements thermaux<sup>20</sup>.

► Concentration en arsenic

L'Agence recommande d'intégrer au contrôle sanitaire le suivi de la concentration en arsenic dans l'eau des bains à remous alimentés par de l'eau minérale naturelle avec comme valeur limite, celle fixée dans l'EDCH de 10 µg.L<sup>-1</sup>.

### 7.6.2.2 Paramètres microbiologiques

► Micro-organismes revivifiables à 36°C

Le dénombrement des micro-organismes revivifiables à 36 °C représente un indicateur de la qualité globale de l'eau. Son évolution défavorable peut indiquer une défaillance dans les installations de traitement responsable d'une dégradation de la qualité de l'eau.

Il est donc proposé de conserver ce paramètre dans le cadre du contrôle sanitaire avec comme limite 100 UFC dans 1 mL.

► *Escherichia coli*

*Escherichia coli* constitue à la fois un indicateur de contamination fécale récente et un indicateur d'efficacité de la désinfection de l'eau. Son absence témoigne de l'efficacité de la désinfection vis-à-vis des seuls pathogènes dont le comportement est identique. Il est donc proposé d'inclure ce paramètre dans la liste des paramètres suivis dans le cadre du contrôle sanitaire avec comme limite, celle retenue dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) soit « < 1 UFC dans 100 mL ». Il est, à noter, que depuis septembre 2000 la norme française NF EN ISO 9308-1 exige la recherche et le dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes. Le paramètre *Escherichia coli* remplace, donc, le terme « coliformes thermotolérants » existant dans la réglementation relative aux piscines réglementées.

---

<sup>20</sup> Ameon R (2008). Mesurage de l'activité volumique du Radon dans les établissements thermaux. Guide méthodologique. Rapport DEI/SARG/2008-028

► Staphylocoques pathogènes ou *S. aureus*

Les staphylocoques pathogènes sont des espèces commensales de l'homme, dont l'origine dans les eaux des bains à remous est principalement rhinopharyngée et cutanée. Ils constituent de ce fait un indicateur du risque de contamination interhumaine. Pathogènes opportunistes, leur résistance dans l'environnement justifie leur recherche dans le cadre du contrôle sanitaire.

L'Agence préconise d'appliquer, aux bains à remous, le seuil en vigueur pour les piscines réglementées soit absence dans 100 mL.

► *Pseudomonas aeruginosa*

Les *Pseudomonas aeruginosa* sont des germes opportunistes, ubiquitaires et résistants. Ils peuvent être véhiculés par l'eau, l'air et les sols. Dans les eaux des bains à remous, en raison de leur résistance aux agents désinfectants et de leur caractère hydro-tellurique, ils constituent un indicateur de la survie et de la persistance des agents pathogènes adaptés aux milieux hydriques et peuvent être à l'origine de pathologies majoritairement ORL et/ou cutanées.

L'Agence demande à les inclure comme paramètre du contrôle sanitaire et de reprendre le seuil proposé dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a) : absence dans 100 mL.

► *Legionella pneumophila*

Les *Legionella pneumophila* sont des germes pathogènes opportunistes, ubiquitaires, capables de survivre dans les amibes. Elles peuvent être à l'origine de pneumopathies graves par inhalation d'aérosols contaminés.

Il est proposé d'inclure leur suivi semestriel dans le cadre du contrôle sanitaire et de fixer comme seuil « < 250 UFC dans 1L, avec *L. pneumophila* non détectée ».

## 7.7 Qualité de l'air

L'amélioration de la qualité de l'air dans les établissements aquatiques et en particulier ceux équipés de bassins atypiques comme par exemple les bains à remous passe inévitablement par un traitement des eaux performant (voir les recommandations du chapitre « traitement de l'eau ») et par une ventilation efficace qui va privilégier les apports massifs d'air neuf.

Cependant, il est important de rappeler les différences d'exposition entre les baigneurs et le personnel. Pour les personnes éloignées du bain à remous, une bonne ventilation qui permet de diluer la pollution devrait être suffisante pour limiter le risque lié aux aérosols. En revanche, les baigneurs ayant la tête à proximité de la source d'émission, le risque d'inhalation de sous-produits de désinfections et d'agents pathogène sera présent même avec un traitement de l'air performant. Ce risque sera plus ou moins élevé en fonction de la sensibilité des personnes exposées.

Compte-tenu des molécules identifiées susceptibles d'être retrouvées dans l'air sous forme gazeuse ou sous forme d'aérosol, l'Agence recommande que l'ensemble des établissements possédant un bain à remous soit classé comme local à pollution spécifique au sens de l'article R4222-3 du code du travail (code du travail, 2009). Dans ce cas, il est recommandé un débit minimal de renouvellement de l'air de  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  par occupant.

Pour les bains à remous alimentés par l'EDCH et par l'EMN, l'Agence recommande d'intégrer au niveau du contrôle sanitaire la mesure de la trichloramine dans l'air avec un seuil maximal de  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Plusieurs VME ont été établies pour deux THM : le décret du 9 février 2006 fixe des VME pour le chloroforme et le bromoforme.

Sous certaines conditions ces limites d'exposition sont applicables à l'ensemble de la population, notamment aux populations sensibles citées dans le rapport. Les VME peuvent être utilisées comme référence pour l'exposition du public en absence de valeur toxicologique de référence. Afin

d'établir le critère d'exposition pour une population sensible l'Agence propose d'appliquer un facteur de sécurité de 10 (facteur d'incertitude) par rapport aux valeurs réglementaires (Sebez, 2011).

L'Agence propose :

- ▶ Pour les bains à remous alimentés par l'EDCH et de l'EMN, la mesure du chloroforme avec un seuil maximal de 0,25 mg.m<sup>-3</sup>.
- ▶ Pour les bains à remous alimentés par de l'eau riche en ions bromure, la mesure du bromoforme dans l'air avec un seuil maximal de 0,5 mg.m<sup>-3</sup>.

Un taux de brassage de l'air de 4 à 5 volumes/heure est recommandé pour assurer une homogénéité des températures et combattre l'effet de stratification de l'air.

L'air, après avoir été déshumidifié et chauffé, est pulsé dans le hall de l'établissement aquatique au niveau du sol à proximité des vitres. Cette technique, très répandue aujourd'hui, permet d'éviter des condensations de la vapeur d'eau sur les vitres et l'effet « parois froides ».

L'Agence rappelle la nécessité de nettoyer et d'entretenir régulièrement les systèmes de ventilation et mettre en place un autocontrôle quotidien des pressions appliquées sur les filtres pour le suivi des apports d'air.

### 7.7.1 Synthèse

**Tableau XVII : Paramètres physico-chimiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les bains à remous.**

Paramètres physico-chimiques	Valeur impérative
COT (mg.L <sup>-1</sup> )	5
Turbidité en sortie de filtre (NFU)	0,3
Chlore actif (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4 - 1,4
Chlore disponible dans le cas du chlore stabilisé (mg.L <sup>-1</sup> )	2,0 - 4,0
Chlore combiné (mg.L <sup>-1</sup> )	0,6
Trihalométanes totaux (mg.L <sup>-1</sup> )	0,02
Chloroforme (pour l'EDCH et l'EMN) (mg.m <sup>-3</sup> )	0,25
Bromoforme (pour l'eau de mer) (mg.m <sup>-3</sup> )	0,5
Arsenic (dans l'EMN) (µg.L <sup>-1</sup> )	10
Ozone résiduel entre le point d'injection de l'ozone et le dispositif de dés ozonation (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4
pH	6,9 – 7,7 7,8-8,2 (eau de mer)

Il n'est pas recommandé d'utiliser la méthode à la DPD pour analyser ou réguler le chlore dans les bains alimentés par les eaux de mer. En effet, les ions iodures provoquent une interférence et un dosage non stable. Il est préférable d'utiliser des méthodes ampérométriques ou une méthode à la syrnaldazine car la trichloramine interfère dans la méthode ampérométrique. Si toute fois la

méthode à la DPD était utilisée, il est rappelé que dans le cas de l'eau de mer, c'est le brome qui est mesuré et qu'il est nécessaire de multiplier par 2,25 la masse de chlore pour obtenir la quantité de brome en mg.L<sup>-1</sup>.

**Tableau XVIII : Paramètres microbiologiques proposés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les bains à remous.**

Paramètres microbiologiques	Valeur impérative
<i>Escherichia coli</i> (dans 100 mL)	< 1 UFC
Bactéries aérobies revivifiables à 36°C (dans 1 mL)	< 100
Staphylocoques pathogènes (dans 100 mL)	< 1UFC
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (dans 100 mL)	< 1UFC
<i>Legionella pneumophila</i> (dans 1 L)	< 250 UFC <i>L. pneumophila</i> non détectée.

## 7.8 Suivi sanitaire des bains à remous par l'exploitant

L'agence reprend les recommandations relatives à la surveillance par l'exploitant préconisées dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a).

Les relevés journaliers du compteur d'eau doivent être intégrés dans le fichier sanitaire.

## 7.9 Personnel

L'employeur doit développer un programme d'entretien des surfaces et un registre où sont consignées les données relatives à l'entretien périodique.

Il doit aussi :

- ▶ Connaître le contenu exact de tous les produits et connaître les précautions à prendre lors de leur utilisation et en cas d'accident ;
- ▶ Bien suivre les principes d'entreposage sécuritaire des produits dont : éviter tout contact avec de l'eau, éviter tout mélange de produits chimiques, etc.) ;
- ▶ Rendre disponible pour tous les travailleurs : lunettes protectrices, gants imperméables, bottes imperméables, masques. De plus, lorsqu'ils manipulent une grande quantité de produits, leur rendre disponible un masque facial et un tablier imperméable ;
- ▶ Développer un programme continu de formation du personnel concernant (inclant tout le personnel devant s'occuper de l'entretien des bains à remous et dont ce n'est pas la tâche principale) :
  - La manipulation sécuritaire et l'entreposage des produits ;
  - La mise en commun des produits ;
  - Les équipements de protection mis à leur disposition et l'importance de les utiliser ;
- ▶ Assurer l'accès à un dispositif de lavage (ex : douche oculaire) pour enlever rapidement tout produit chimique qui aurait été mis en contact avec la peau ou les muqueuses oculaire ou buccale d'un travailleur.

Par ailleurs, il est rappelé que les travaux exposant aux dérivés aminés des produits chlorés tels que les chloramines dans les piscines figurent dans le tableau n°66 des maladies professionnelles du régime général (pour les maîtres nageurs) et que l'utilisation des produits d'entretien et de nettoyage sont susceptibles d'engendrer des pathologies allergiques. De ce fait l'Agence conseille une surveillance médicale renforcée pour les personnels des bains à remous (surveillance, entretien, accueil).

Par ailleurs, selon l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en fonction de leurs propriétés radioactives, les établissements thermaux doivent réaliser une évaluation des doses d'exposition aux rayons ionisants reçus par les travailleurs dont les résultats sont transmis au préfet et à l'IRSN. De telles recommandations pourraient également être mises en place dans les établissements thermoludiques.

## 7.10 Proposition d'amélioration des connaissances

Afin de pouvoir quantifier pour les baigneurs et le personnel, les risques liés à la baignade dans un bain à remous, plusieurs études doivent être menées. Outre celles proposées dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a), certaines sont spécifiques aux bains à remous :

- ▶ Le développement de méthodes de prélèvements d'aérosols dans l'air permettant l'analyse des sous-produits de désinfection;
- ▶ L'élaboration de VTR et/ou de VLEP pour la voie respiratoire pour les sous-produits de désinfection définis comme prioritaires (THM, AHA, chloramine et bromamine, etc.);
- ▶ La réalisation d'études sur :
  - Les concentrations en chlore combiné dans l'eau des bains à remous afin de pouvoir établir un seuil plus adapté que celui actuellement en vigueur fixé pour les piscines réglementées ;
  - La caractérisation (composition physico-chimique et microbiologique, dispersion) des aérosols ;
  - Les valeurs d'exposition aux sous-produits de désinfection formés dans l'eau et dans l'air des bassins alimentés par une eau autre que l'EDCH, pour lesquels les données manquent ;
  - l'exposition à l'arsenic lors de la baignade en eau minérale naturelle ;
  - Les sous-produits formés lors de l'utilisation d'additifs tels que les huiles essentielles afin d'en évaluer la toxicité et les éventuels effets synergiques ou antagonistes de leurs mélanges avec les sous-produits de désinfection présents dans l'eau ;
  - L'occurrence des mycobactéries non tuberculeuses ainsi que des amibes libres pouvant être rencontrées dans l'eau des bains à remous ;
  - Les endotoxines bactériennes, les composés fongiques présents dans les bains à remous et leur dissémination dans l'air ;
  - les interactions entre le désinfectant et la présence de toxines dans l'eau d'alimentation (eau de mer principalement) ;
  - L'élaboration de scénarii réalistes en fonction des différents types de populations exposées.



## BIBLIOGRAPHIE

### Réglementation

Arrêté du 19 juin 2000 relatif au contrôle des sources d'eaux minérales (*JO du 20 juin 2000*).

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

Bundesgesundheitsstlb – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 9. (2006). Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Schwimm – und Badebecken-wasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt.

Circulaire N°DGS/EA4/2010/289 du 27 juillet 2010 relative à la prévention des risques infectieux et notamment de la légionellose dans les bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public.

Circulaire 2000-336 du 19 juin 2000 relative à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux.

Code de la santé publique. (2010-a). Titre 1 : Organisation des établissements de santé. Chapitre 1er : Mission des établissements de santé: Article L6111-2 modifié par la loi 2009-879 du 21 juillet 2009

Code de la santé publique. (2010-b). Section 1 : Eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles. Sous-section 1 : Dispositions générales. Paragraphe 1 : Champ d'application, limites et références de qualité. Article R1321-1 à R1321-5.

Code de la santé publique (2012a). Livre III : Protection de la santé et de l'environnement. Titre II sécurité sanitaire de l'eau et des aliments. Chapitre 2 : eaux minérales naturelles. Articles R 1322-1 à R 1322-6.

Code du travail. (2012b). Section 2 : Locaux à pollution spécifique - Article R 4222-6 créé par Décret n°2008-244 du 7 mars 2008 - art. (V).

Code du travail (2012c). Partie 4 – Santé et sécurité au travail > Livre 2 - Dispositions applicables aux lieux de travail > Titre 2 - Obligations de l'employeur pour l'utilisation des lieux de travail > Chapitre 2 - Aération, assainissement > Partie réglementaire > Section 1. Principes et définitions. Article R. 4222-3.

Code du travail. (2012d). Partie 4 – Santé et sécurité au travail > Livre 2 - Dispositions applicables aux lieux de travail > Titre 1 - Obligations du maître d'ouvrage pour la conception des lieux de travail > Chapitre 1 – Principes généraux > Article R 4211-1 à 6 créé par Décret n° n°2008-244 du 7 mars 2008- art. (V).

Décision 2002/113/CE de la Commission du 23 janvier 2002 modifiant la décision 1999/217/CE en ce qui concerne le répertoire des substances aromatisantes utilisées dans ou sur les denrées alimentaires.

Décret n° 2007-1221 du 3 août 2007 modifiant l'article D. 4211-13 du code de la santé publique relatif à la liste des huiles essentielles dont la vente au public est réservée aux pharmaciens.

Décret no 2006-133 du 9 février 2006 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes à certains agents chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) NOR : SOCT0512181D.

DGS. (2010). Circulaire DGS/E4/2010/289 relative à la prévention des risques infectieux et notamment des légionelles (légionellose) dans les bains à remous à usage public ou collectif (spas).

DGS. (2005). la qualité microbiologique des eaux minérales naturelles utilisées à des fins thérapeutiques en milieu thermal au cours de la saison thermale 2001. Paris

DGS. (2008). Circulaire DGS/EA4/65 du 22 février 2008 relative aux dispositions réglementaires applicables aux piscines ouvertes au public, à l'utilisation des produits et procédés de traitement de l'eau et notamment à ceux mettant œuvre des lampes à rayonnement ultraviolet (UV) pour la déchloration des eaux. N° DGS/EA4/65.

DGS. (2001a). Circulaire DGS n° 2001/487/DE du 11 octobre 2001 relative au renforcement des mesures de protection des installations de production et distribution d'eau destinée à la consommation humaine dans le cadre du plan VIGIPIRATE renforcé.

DGS. (2001b). Circulaire DGS/SD 7 A n° 2001-575 du 29 novembre 2001 d'enquête sur le bilan de la mise en œuvre de l'arrêté du 19 juin 2000 modifiant l'arrêté du 14 octobre 1937 modifié, relatif au contrôle des sources d'eaux minérales. NOR : MESP0130760C.

DGS. (2000). Circulaire DGS/VS 4 N° 2000-336 du 19 juin 2000 relative à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux. NOR : MESP0030267C.

DGS. (1961). Circulaire DGS/HP n° 513/5 du 6 juin 1961 relative aux établissements de thalassothérapie.

Directive européenne 2003/15/EC du 27 février 2003 modifiant la directive 76/768/CEE du Conseil concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux produits cosmétiques.

Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

Gouvernement du Québec. (2002). Règlement Q-2, r18-1-02 sur la qualité de l'eau des piscines et autres bassins artificiels, loi de l'environnement.

Government of South Australia. (1991). Standard for the operation of swimming pools and spa pools in South Australia.

Government of South Australia. (1992a). Standard for the operation of swimming pools and spa pools in South Australia. Supplement A Waterslides. Department of human services, South Australian Health Commission. March 1992.

Government of South Australia. (1992b). Standard for the operation of swimming pools and spa pools in South Australia. Supplement B Hydrotherapy pool. Department of human services, South Australian Health Commission. March 1992.

Government of South Australia. (1992c). Standard for the operation of swimming pools and spa pools in South Australia. Supplement C Bromine Disinfection of swimming pool and spa pool, hydrotherapy pool and waterslide pool water. Department of human services, South Australian Health Commission. May 1992.

Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale. (2002). Arrêté du 10 octobre 2002 du Gouvernement de la région de Bruxelles-Capitale fixant des conditions d'exploitation pour les bassins de natation.

Gouvernement wallon. (2003). Arrêté du 13 mars 2003 du Gouvernement wallon portant sur les conditions sectorielles relatives aux bassins de natation 13 mars 2003- Arrêté du 25.04.2003 modifié par l'arrêté du Gouvernement wallon du 6 mai 2004 (M ;B. 2004) et du 21 décembre 2006 (M.B. 30.01.2007).

Journal Officiel de la République Française. (2007a). Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique. NOR : SANP0720201A.

Journal Officiel de la République Française. (2007b). Décret n°2007-49 du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine. NOR : SANX0600145D.

Journal Officiel de la République Française. (2007c). Arrêté du 27 février 2007 relatif aux traitements de l'eau minérale naturelle utilisée à des fins thérapeutiques dans les établissements thermaux. NOR: SANP0721196A.

Journal Officiel de la République Française. (2007d). Arrêté du 17 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique). NOR : SANP0721398A.

Journal Officiel de la République Française. (2003). Arrêté du 1<sup>er</sup> avril 2003 portant approbation de la convention nationale thermale. NOR : SANS0320595A.

Journal Officiel de la République Française. (2000). Arrêté du 19 juin 2000 relatif au contrôle des sources d'eaux minérales. NOR: MESP0021995A.

Journal Officiel de la République Française. (1981). Arrêté du 7 avril 1981 fixant les dispositions techniques applicables aux piscines modifié par l'arrêté du 28 septembre 1989 et l'arrêté du 18 janvier 2002 - NOR : MESP0220296A - Version consolidée au 23 janvier 2002 - Version en vigueur au 27 janvier 2010.

Journal officiel de la République Française (1956). Décret n° 56-284 du 09 mars 1956 complétant le décret n° 46-1834 du 20 août 1946 modifié, fixant les conditions d'autorisation des établissements privés de cure et de prévention pour les soins aux assurés sociaux.

Journal officiel de l'Union européenne. (2006). Directive 2006/7/CE du Parlement Européen et du conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE.

Legislación de la comunidad Autónoma de la región de Murcia..Decreto 55/1997, de 11 de julio (BORM 28-7-97). Regula las condiciones sanitarias de Balnearios, Baños Termales y establecimientos de talasoterapia y de aplicación de Peloides.

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (2003). REAL DECRETO 861/2003, de 4 de julio, por el que se modifican los Estatutos generales de los Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Peritos Agrícolas de España y de su Consejo General, aprobados por el Real Decreto 2772/1978, de 29 de septiembre, y modificados por el Real Decreto 429/1999, de 12 de marzo.

Minister of Health, the Elderly and Community Care. (2005). Swimming pool regulations. PUBLIC HEALTH ACT No. XIII of 2003. L.N. 129 of 2005.

National Swimming Pool Foundation, U.S. State Code of Colorado. En ligne : <http://www.cdphe.state.co.us/regulations/waterqualitycontroldivision/100305swimmingpoolsunofficial1103.pdf>, consulté le 16 juillet 2010.

Salut Publica. (2000). Decret 95/2000, de 22 de febrer, pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic. Catalunya.

Virginia Department of health, Swimming Pool Regulations Governing the Posting of Water Quality Results. En ligne : <http://www.vdh.state.va.us/EnvironmentalHealth/Food/Regulations/PostingWaterQuality/index.htm> 2007, consulté le 16 juillet 2010.

## Normes

AFNOR (2010). NF EN 15796. Produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau des piscines. Hypochlorite de calcium. Mars 2010.

AFNOR (2010b). NF T90-471. Qualité de l'eau - Détection et quantification des *Legionella* et/ou *Legionella pneumophila* par concentration et amplification génique par réaction de polymérisation en chaîne en temps réel (RT - PCR).

AFNOR (2010c). NF ISO 19250. [Qualité de l'eau - Recherche de \*Salmonella\* spp.](#)

AFNOR (2009). NF P90-320. Terminologie des piscines. Décembre 2009.

AFNOR (2008). NF ISO 16 266. Qualité de l'eau - Détection et dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa* - Méthode par filtration sur membrane

AFNOR (2006). NF EN 15077. Produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau des piscines. Hypochlorite de sodium. Octobre 2006.

AFNOR (2006). NF 15076. Produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau des piscines. Hydroxyde de sodium. Juillet 2006.

AFNOR (2006). XP T90-412. Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes - Méthode par filtration sur membrane.

AFNOR (2005). EN 10088. [Aciers inoxydables - Partie 1 : liste des aciers inoxydables.](#)

AFNOR (2003). NF T90 431. Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement de *Legionella* spp. et de *Legionella pneumophila* - Méthode par ensemencement direct et après concentration par filtration sur membrane ou centrifugation.

AFNOR (2001). NF T 90-455. Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement d'oocystes de *Cryptosporidium* et de kystes de *Giardia* - Méthode de concentration et de dénombrement .

AFNOR (2000). NF thermalisme X50-910. Etablissements thermaux. Terminologie. Septembre 2000.

AFNOR (2000b). NF EN ISO 9308-1 - Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes - Partie 1 : méthode par filtration sur membrane.

AFNOR (1995). NF EN 10088-1 (A35572) – Aciers inoxydables – Partie 1 : Liste des aciers inoxydables.

DIN. (1997). DIN 19643-1. Treatment of the water of swimming-pools and baths – Part 1 : General Requirements.

OFSP (Office fédéral de la santé publique). (2009). *Legionella* et legionellose. Confédération suisse. Mars 2009.

OFSP (Office fédéral de la santé publique). (2007). Bonne qualité de de l'eau et de l'air dans les piscines publiques. Confédération suisse, mai 2007.

SIA. (2000). Eau et installation de regeneration de l'eau dans les piscines publiques . N°SIA 385/1.

## Publications

Abarnou A. (1982). Les rejets chlorés en mer. Aspects chimiques de la chloration des eaux et évolution des nuisances pour le milieu. *Science et pêche, Bull. Inst. Pêches marit.* ; 321.

Adamantia A.K., Euripides G.S. (2002). The impact of bromide on the formation of neutral and acidic disinfection by-products (DPBs) in Mediterranean chlorinated drinking waters. *Water Res.* ; 36 : 2596-2606.

Afssa (2007). Évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Tome 1.

Afssa (2008 a). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité des bromates dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Afssa (2008 b). Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire.

Afssa (2009 a). Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments : *Salmonella* spp. Maisons-Alfort : Afssa. En ligne : <http://www.afssa.fr/Documents/MIC-Fi-Salmonellaspp.pdf>

Afssa (2009 b). Lignes directrices sur les éléments nécessaires pour l'évaluation des dossiers de prélèvement d'eau de mer ou d'eau saumâtre pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (rapport 2009-SA-009).

Afssa (2009 c). Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments *Vibrio parahaemolyticus*. En ligne : <http://www.afssa.fr/Documents/MIC-Fi-Vibrio.pdf>

Afssa (2009 d). Risques liés à la présence de moisissures et levures dans les eaux conditionnées.

Afssa (2010). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatifs à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité du paramètre « trihalométhanes totaux » dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Afssa – Afsset (2006). Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et aux autres activités récréatives.

Afssaps (2010). Recommandations relatives à l'évaluation du risque lié à l'utilisation d'huiles essentielles dans les produits cosmétiques.

Afsset (2010 a). Risques sanitaires liés aux piscines. Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines. Partie 1 : piscines réglementées. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort.

Afsset (2010 b). Avis relatif au produit Révacil® (polyhexaméthylène biguanide) proposé pour la désinfection des eaux de piscines par la société MAREVA.

Afsset (2010 c). Evaluation des risques sanitaires liés à la présence de végétaux associés à des cyanobactéries sur la plage de N'Gouja à Mayotte. Note d'expertise collective.

Afsset. (2009 a). Risques sanitaires liés aux baignades artificielles. Évaluation des risques sanitaires. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort.

Afsset (2009 b). Convention de recherche et développement : Caractérisation microbiologique et physico-chimique des piscines atypiques sur le territoire français. Rapport non publié.

Afsset (2009c). Convention de recherche et développement : Caractérisation microbiologique et physico-chimique des piscines d'eau de mer sur le territoire français. Rapport non publié.

Afsset (2007 a). Risques sanitaires liés à la présence du virus *Influenza* aviaries dans les eaux. Evaluation du risque sanitaire pour la population générale et les travailleurs lié à la présence de virus *Influenza* aviaries hautement pathogènes de sous-type H5N1 ou d'un virus pandémique dérivé de ce sous-type dans divers effluents aqueux et eaux de surface. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort.

Afsset (2007 b). Risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort.

Agence de la santé publique du Canada. (2001) *Aeromonas hydrophila*. – Fiches techniques santé/sécurité (FTSS). 23 janvier 2001. En ligne : <http://www.phacaspc.gc.ca/msds-ftss/msds6f-fra.php>

Agence de Santé Publique du Canada. (2010). *Epidermophyton floccosum*, *Microsporum* spp., *Trichophyton* spp. FTSS : agents pathogènes. 10 novembre 2011. En ligne : <http://www.phac-aspc.gc.ca/lab-bio/res/psds-ftss/epidermophyton-fra.php>

Agus E., Voutchkov N., Sedlak D.L. (2009). Disinfection by-products and their potential impact on the quality of water produced by desalination systems : a literature review. *Desalination* ; 237 : 214-237.

Agus E., Sedlak D. (2010). Formation and fate of chlorination by-products in reverse osmosis desalination systems. *Water Res.* ; 44 : 1616-1626

Alhadj M., Nelson N.G., McKenzie L.B. (2009). Hot tub, whirlpool, and spa-related injuries in the U.S., 1990-2007. *Am. J. Prev. Med.*; 37(6) : 531-536.

Allard S. (2008) Doctorat d'Université de Poitiers - Spécialité Chimie et Microbiologie de l'eau. Formation de composés organiques iodés catalysée par les oxydes de manganèse.

Allonier A.S., Khalanski M., Camel V., *et al.* (1999 a). Determination of dihaloacetonitriles and halophenols in chlorinated seawater. *Talanta* ; 50 : 227-236.

Allonier A.S., Khalanski M., Camel V. *et al.* (1999 b). Characterization of chlorination by-products in cooling effluents of coastal nuclear power stations. *Mar. Poll. Bull.*; 38 (12) : 1232-1241.

Allonier A.S., Khalanski M., Bermond A. *et al.* (2000). Determination of trihalomethanes in chlorinated sea water samples using a purge-and-trap system coupled to gas chromatography. *Talanta*; 51 : 467-477.

Al-Omari A., Fayyad M., Qadder A.A. (2004). Modeling trihalomethane formation for Jabal Amman water supply system in Jordan. *Environ. Model Assess.* ; 9 : 245-252.

Alsibai S., Bilo de Bernardi P., Janin C., *et al.* (2006). Outbreak of legionellosis suspected to be related to a whirlpool spa display, September 2006, Lorquin, France. *Eurosurveillance*. 11, issue 41.

Améon R. (2003). Le radon dans les stations thermales : une source d'exposition aux rayonnements ionisants. *Radioprotection* ; 38 (2) : 201-215.

Anderson J.H. (1979). *In vitro* survival of human pathogenic fungi in seawater. *Sabouraudia*; 17 (1) : 1-12.

Anderson W.B., Slawson R.M., Mayfeld C.L. (2002). A review of drinking-water-associated endotoxin, including potential routes of human exposure. *Can. J. Microbiol.* ; 48 : 567-587.

Anses (2011). Élaboration d'une valeur toxicologique de référence chronique par voie orale de l'hydrate de chloral (CAS 302-17-0). Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.

Apréa M.C., Banchi B., Lunghini L., *et al.* (2010). Disinfection of swimming pools with chlorine and derivatives: formation of organochlorinated and organobrominated compounds and exposure of pool personnel and swimmers. *Natural Science* ; 2 (2) : 68-78.

- Armstrong T.W., Haas C.N. (2007 a). Quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease: assessment of human exposures for selected spa outbreaks. *J. Occup. Env. Hyg.* ; 4 (8) : 634-646.
- Armstrong T.W., Haas C.N., (2007 b). A quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease : animal model selection and dose –response modeling. *Risk Anal.* ; 27 (6) : 1581-96.
- ATSDR. (1997). Toxicological Profile for Nickel. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services ; Atlanta, GA, September 1997.
- ATSDR. (2005). Bromoform and Dibromochloromethane ToxFAQs, <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts130.pdf>
- ATSDR. (2007). Toxicological Profile for Nickel. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Department of Health and Human Services; August 2007. En ligne : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=22&tid=3>
- Aubuchon C., Hill J.J. Jr, Graham D.R. (1986). Atypical mycobacterial infection of soft tissue associated with use of a hot tub. A case report. *J. Bone Joint. Surg. Am.* ; 68 (5) : 766-768.
- Auclino F.A., Orsini P., Carere M., *et al.* (2001). Bacteriological and virological quality of seawater bathing areas along the Tyrrhenian coast. *Int. J. Environ. Health Res.* ; 11 : 5-11.
- Auvinen A., Salonen L., Pekkanen J., *et al.* (2005). Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer : a case-cohort study in Finland. *Int. J. Cancer.* ; 114 : 109-113.
- Baron P.A., Willeke K. (1986). Respirable droplets from whirlpools : measurements of size distribution and estimation of disease potential. *Environ. Res.* ; 39 : 8-18.
- Baruchin A.N., Shapira A., Scharf S., *et al.* (1996). *Pseudomonas folliculitis* acquired from hot tubs and whirlpools : an overview. *Annals of Burns and Fire Disasters*; 9 (4) : 204.
- Baudisch C., Pansch G., Prösch J., *et al.* (1997). [Determination of volatile halogenated hydrocarbons in chlorinated swimming pool water. Research report.] Außenstelle Schwerin, Landeshygieneinstitut Mecklenburg -Vorpommern
- Bégué J.P., Bonnet-Delpon D. (2005). Chimie bioorganique et médicinale du fluor. Dans Paris : EDP science et CNRS éditions. 19 p.
- Benkel D.H., Mc Clure E.M., Woolard D. *et al.* (2000). Outbreak of Legionnaires' disease associated with a display whirlpool spa. *Int. J. Epidemiol.* ; 29 (6) : 1092-1098.
- Benoit F., Jackson R. (1987). Trihalomethane formation in whirlpool spas. *Water. Res.*; 21 (3) : 353-357.
- Ben Salah I., Drancourt M. (2010). Surviving within the amoebal exocyst: the *Mycobacterium avium* complex paradigm. *BMC Microbiol.* ; 10: 99.
- Benner R. (2003). Chemical composition and reactivity, dans Biogeochemistry of Marine dissolved Organic Matter, Academic Press, Elsevier : 59-90.
- Berg M., Müller S. R., Mühlemann J., *et al.* (2000). Concentrations and Mass Fluxes of Chloroacetic Acids and Trifluoroacetic Acid in Rain and Natural Waters in Switzerland. *Environ. Sci. Technol.* ; 34 (13) : 2675-2683.
- Berger R.S., Seifert M.R. (1990). Whirlpool folliculitis: a review of its cause, treatment, and prevention. *Cutis* ; 45 (2) : 97-8.

- Bernard A., Carbonnelle S., Dumont X. *et al.* (2007). Infant swimming practice, pulmonary epithelium integrity, and the risk of allergic and respiratory diseases later in childhood. *Pediatric* ; 119 (6) : 1095-103.
- Bertrand N., Cathala D., Delahaie S. (2007). Les toxines marines sur le littoral français : état des connaissances. Mémoire de fin de diplôme, Ecole Nationale de la Santé Publique.
- Besse F., De Monpezat A., Dupuis C. (2004). Atelier Santé – Environnement. Evaluation et gestion des risques liés à *Pseudomonas aeruginosa* dans les établissements de thermalisme. ENSP-Rennes.
- Bichsel Y., Von Gunten U. (1999). Oxidation of Iodide and Hypoiodous Acid in the Disinfection of Natural Waters. *Environ. Sci. Technol.* ; 33 (22) : 4040-4045.
- Bichsel Y., Von Gunten U. (2000). Formation of Iodo-Trihalomethanes during Disinfection and Oxidation of Iodide-Containing Waters. *Environ. Sci. Technol.* ; 34 (13) : 2784-2791.
- Bickley L.K., Papa C.M. (1989). Chronic arsenicism with vitiligo, hyperthyroidism, and cancer. *N. J. Med.* ; 86 (5) : 377-380.
- Birch C. Gust I. (1989). Sewage pollution of marine waters : the risks of viral infection. *Med. J. Aust.*; 151 : 609-611.
- Bituh T., Marovic G., Petrinc B., *et al.* (2009). Natural radioactivity of <sup>226</sup>Ra and <sup>228</sup>Ra in thermal and mineral waters in Croatia. *Radiat. Prot. Dosimetry* ; 133 (2) : 119-123.
- Blanchard D.C., Hoffman, E.J. (1978). Control of jet drop dynamics by organic matter in seawater. *J. Geophys. Res.* ; 83 : 6187-6191.
- Blanchard D.C., Syzdek L.D. (1982). Water-to-air transfer and enrichment of bacteria in drops from bursting bubbles. *Appl. Environ. Microbiol.*; 43 : 1001-1005.
- Bougeard C.M.M., Goslan E.H., Jefferson B., *et al.* (2010). Comparison of the disinfection by-products formation potential of treated water exposed to chlorine ad monochloramines. *Water Res.* ; 44 : 729-740.
- Boutin J.P., Delolme H. et André L.J. (1992). Eau de mer et pathologie. Médecine d'Afrique noire.vol. 39.
- Brun Y., Bes M. (2000). *Staphylococcus*. dans *Précis de bactériologie clinique*. Ed. Freyney J RF, Hansen W., Bollet C., pp. 783-830. ESKA, Paris.
- Brunet R., Berne F., De Laat J. (2010). Sous-produits de chloration dans les eaux de piscines publiques. *EIN* ; 333 : 83-88.
- Buchheit M., Horobeanu C., Mendez-Villanueva A., *et al.*(2011). Effects of age and spa treatment on match running performance over two consecutive games in highly trained young soccer players. *J. Sport. Sci.* ; 29 (6) : 591-598.
- Burnsed L.J., Hicks L.A., Smithee L.M.K., *et al.* (2007). A large, travel-associated outbreak of legionellosis among hotel guests : utility of the urine antigen assay in confirmaing Pontiac fever. *CID*. 44.
- Butler T.C. (1948). Bromal hydrate and chloral hydrate; a pharmacological contrast and its chemical basis. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* ; 94 (4) : 401-411.
- Cahier Indicateur n°1. GIP Loire Estuaire (2005). Sites contaminés par *E.coli*.
- Cahier technique du bâtiment. (1987). n°91.



Cambau E., Lucas F., Moulin L. *et al.* (2008). La problématique des mycobactéries non-tuberculeuses dans les environnements aquatiques. Colloque 2008 du PIREN-Seine (communication orale).

Campese C., Roche D., Clément C., *et al.* (2010). Cluster of legionnaire's disease associated with a public whirlpool spa, France, april-may 2010. [www.eurosurveillance.org](http://www.eurosurveillance.org).

Cantor K.P., Villanueva C.M., Silverman D. *et al.* (2010). Polymorphisms in *GSTT1*, *GSTZ1*, and *CYP2E1*, disinfection by-products, and risk of bladder Cancer in Spain. *Environ. Health. Perspect.* ; 118 : 1545-1550.

Cardador M.J., Gallego M. (2010). Determination of haloacetic acids in human urine by headspace gas chromatography–mass spectrometry. *J. Chromatogr. B.* ; 878 : 1824-1830.

Cardellina J.H., Marner F.J. et Moore R.E. (1979). Seaweed dermatitis structure of lyngbyatoxin A. *Science*; 204 : 193 -195.

Carducci A., Tozzi E., Rubulotta E. *et al.* (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Res.*; 34 (4) : 1173-1178.

Caro J., Callego M. (2007). Assessment of exposure of workers and swimmers to trihalomethanes in an indoor swimming pool. *Environ. Sci. Technol.* ; 41 : 4793-4798.

Carr A.C., Van den Berg J.J.M., Winterbourn C.C. (1998). Differential reactivities of hypochlorous and hypobromous acids with purified *Escherichia coli* phospholipid: formation of haloamines and halohydrins. *Biochim. Biophys. Acta.* ; 1392 : 254-264.

Casanovas-Massana A., Blanch A.R. (2012). Diversity of the heterotrophic microbial populations for distinguishing natural mineral waters. *Int. J. Food Microbiol.*, 153 (1-2) : 38-44. CDC. (2011). Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks and Other Health Events Associated with Recreational Water —United States, 2007–2008 And Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water — United States, 2007–2008. Surveillance Summaries / Vol. 60 / No. 12.

Cebrián M.E., Albores A., Aguilar M., *et al.* (1983). Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico. *Hum. Toxicol.* ; 2 : 121-133.

Cemeli E., Wagner E.D., Anderson D. *et al.* (2006). Modulation of the cytotoxicity and genotoxicity of the drinking water disinfection by-products iodoacetic acid by suppression of oxidative stress. *Environ. Sci. Technol.* ; 40 : 1878-1883.

Centre national de référence des *E. coli* et *Shigella*. (2009). Rapport d'activité annuel.

Chaieb K., Kouidhi B., Zmantar T., *et al.* (2011). Starvation survival of *Candida albicans* in various water microcosms. *J Basic Microbiol.* , 51 (4) : 357-63.

Chambers C. (2005). Risk of hyperthermia associated with hot tub or spa use by pregnant women. Technical report US consumer safety product commission.

Chambre syndicale de la recherche et de la production de pétrole et du gaz naturel - Comité des techniciens (1993). Circuits eau de mer : traitements et matériaux. Editions technip.

ChemSpider. (2010a). ChemSpider Building community for chemists : bromodichloromethane.

En ligne <http://www.chemspider.com/RecordView.aspx?rid=641fbc02-673a-4d40-9847-5f5b7a8ed597>

ChemSpider. (2010b). ChemSpider Building community for chemists : dibromoacetic acid.

En ligne : <http://www.chemspider.com/RecordView.aspx?rid=aa1ac07b-5a17-4aca-933d-17ab2661223d>

- ChemSpider. (2010c). ChemSpider Building community for chemists : trichloroacetic acid. En ligne : <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.10772050.html>
- Chowdhury S., Champagne P. (2009). Risk from exposure to trihalométhanes during shower : probabilistic assessment and control. *Sci. Total Env.* ; 407 : 1570-1578.
- Cimetièrre N., De Laat J. (2009). Henry's law constant of N,N-dichloromethylamine: Application to the contamination of the atmosphere of indoor swimming pools. *Chemosphere* ; 77 : 465 – 470.
- Collman G.W., Loomis D.P., Sandler D.P. (1988). Radon-222 concentration in groundwater and cancer mortality in north Carolina. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* ; 61 : 8-13.
- Cooper I.R., Hanlon G.W. (2010). Resistance of *Legionella pneumophila* serotype 1 biofilms to chlorine based disinfection. *J. Hosp. Infect.* ; 74 : 152-159.
- Corbett E.L., Crossley I., De Cock K.M. (1995). Asthma in an AIDS patient with Norwegian scabies introduced by bathing. *Genitourin. Med.* ; 71 : 200.
- Costerton J.W., Cheng K.J., Geesey G.G. *et al.* (1987). Bacterial biofilms in nature and disease. *Ann. Rev. Microbiol.* ; 4 : 435-464.
- Coulomb B., Richardson Y., Brach-Papa C. *et al.* (2006). Rapid estimation of TOC in a marine urban sewage area by UV Spectral Deconvolution. *Int. J. Environ. An. Ch.* ; 86 (14) : 1079-109.
- CPSC (1979). Warns of hot tub temperatures. Washington, DC, united States Consumer Product Safety Commission. <http://www.cpsc.gov/CPSCPUB/PREREL/prhtml79/79071.html>
- CSTB (2006). Avis technique 3/06-469. Bassin de piscines HSB en acier inoxydable.
- Dailoux M., Laurain C., Weber M., *et al.* (1999). Water and non-tuberculous mycobacteria. *Water Res.* ; 33 : 2219-28.
- Dalvi A., Al-Rasheed R., Javeed M. (2000). Haloacetic acids (HAAs) formation in desalination processes from disinfectants. *Desalination* ; 129 : 261-271.
- De Beer D., Srinivasan R., Stewart P.S. (1994). Direct measurement of chlorine penetration into biofilms during disinfection. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 60 (12) : 4339-4344.
- Degryse A.C., Delpla I., Voinier M.A. (2008). Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Rapport de stage en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du génie sanitaire.
- De Laat J., Berne F., Brunet R. *et al.* (2009). Sous-produits de chloration formés lors de la désinfection des eaux de piscines. Etude bibliographique. *Eur. J. Water Quality* ; 40 (2) : 109-128.
- De Laat J., Feng W., Freyfer D.A., *et al.* (2011). Concentration levels of urea in swimming pool water and reactivity of chlorine with urea. *Water Res.* ; 45 : 1139-1146.
- Deloménie P. (2000). Rapport sur le thermalisme français. Inspecteur général des affaires sociales. p 62.
- DeMarini D.M., Shelton M.L., Warren S.H. *et al.* (1997). Glutathione S-transferase-mediated induction of GC-->AT transitions by halomethanes in Salmonella. *Environ. Mol. Mutagen.* ; 30 : 440-447.
- Den Boer J.W., Yzerman E.P.F., Schellekens J. *et al.* (2002). A large outbreak of Legionnaires' disease at a flower show, The Netherlands, 1999. *Emerg. Infect. Dis.* ; 8 (1) : 37- 43.
- Demillac R., Legeas M., Deguen S. (2005). Évaluation comparée du risque sanitaire lié à la teneur en légionelles dans l'eau à l'hôpital et dans les établissements thermaux. Convention DGS ENSP n°03-005.

- De Schrijver K., Dirven K., Van Bouwel K. *et al.* (2003). An outbreak of Legionnaire's disease among visitors to a fair in Belgium in 1999. *Public Health.* ;117 (2) : 117-124.
- DGS (2005) : la qualité microbiologique des eaux minérales naturelles utilisées à des fins thérapeutiques en milieu thermal au cours de la saison thermale 2001. Paris.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N. *et al.* (2003). Bioaerosol health effects and exposure assessment : progress and prospects. *Anul. Occup. Hyg.* ; 47 (3) : 187-200.
- Dueker M.E., Weathers K.C., O'Mullan G.D., *et al.* (2011). Environmental Controls on Coastal Coarse Aerosols : Implications for Microbial Content and Deposition in the Near-Shore. *Env. Sci. Technol.* ; 45 (8) : 3386-3392.
- Dumontet S., Krovacek K., Svenson S.B., *et al.* (2000). Prevalence and diversity of *Aeromonas* and *Vibrio* spp. In costal waters of Southern Italy. *Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis.* ; 23: 53-72.
- Duong H., Hasmi S.S., Ramadhani T., *et al.* (2011). Maternal use of hot tub and major Structural birth defects. *Birth Defects Res. A Clin. Mol. Teratol.* ; 91 (9) : 836-841.
- Dvorak J., Hubalek Z., Otcenasek M., (1968). Survival of dermatophytes in human skin scales. *Archives of Dermatology* ; 98 (5) : 540-542.
- Edmonds J.S., Morita M. (1998). The determination of iodine species in environmental and biological samples. *Pure and Appl. Chem.* ; 70 (8) : 1567-1584.
- Edson R.S., Terrell C.L., Brutinel W.M. *et al.* (2006). *Mycobacterium intermedium* granulomatous dermatitis from hot tub exposure. *Emerg. Infect. Dis.* ; 12 (5) : 821-823.
- Edwards M.J. (2006). Review : Hyperthermia and fever during pregnancy, Birth Defects Res. Part. A. *Clin. Mol. Teratol.* ; 76 (7) : 507-16.
- El Din A.M.S., Arain R.A., Hammoud A.A. (1991). A contribution to the problem of trihalomethane formation from the Arabian Gulf water. *Desalination* ; 85 : 13-32.
- Embil J., Warren P., Yakrus M. *et al.* (1997). Pulmonary illness associated with exposure to *Mycobacterium avium* complex in hot tub water: hypersensitivity pneumotitis or infection? *Chest.* ; 111 : 813-816.
- Erbel R. (1991). Mitral valve prolapsed: a risk in the sauna? *Dtsch Med Wochensch.* ; 116 : 1331.
- Erdinger L., Kühn K.P., Kirsh F. *et al.* (2004). Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* ; 207 : 571-575.
- Eshel G.M., Safar P., Sassano J., *et al.* (1998). Delayed death after uncomplicated hot tub bathing in dogs and monkeys. *Resuscitation* ; 37 : 189-195.
- Fabbricino M., Korshin G.V. (2005). Formation of disinfection by-products and applicability of differential absorbance spectroscopy to monitor halogenation in chlorinated coastal and deep ocean seawater. *Desalination* ; 176 : 57-69.
- Fabbricino M., Korshin G.V. (2009). Modelling disinfection by-products formation in bromide-containing waters. *J. Hazard. Mater.* ; 168 : 782-786.
- Falkinham J.O. (2003). Mycobacterial Aerosols and Respiratory Disease. *Emerg. Infect. Dis.* ; 9 (7) : 763-767.
- Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., *et al.* (2001). Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci.Total Env.* ; 264 : 257-265.
- Faroqui M.A., Berenson C., Lohr J.W. (1999). *Mycobacterium marinum* infection in a renal transplant recipient. *Transplant.* ; 67 : 1495-1496.

- Fields B.S., Haupt T., Davis J.P. *et al.* (2001). Pontiac fever due to *Legionella micdadei* from a whirlpool spa : possible role of bacterial endotoxin. *J. Infectious Disease* ; 184 : 1289-1292.
- Fiori M. (2004). rejet de norovirus : Bilan des connaissances et appréciation de son impact sur la zone côtière.
- Flahaut J. (1977). Applications modernes du brome et de ses dérivés. Dans *Revue d'histoire de la pharmacie*, 65<sup>e</sup> année ; 232 : 34-62.
- Foster K., Gorton R., Waller J. (2006). Outbreak of legionellosis associated with a spa pool, United Kingdom. *Eurosurveillance* ; 11 (38).
- Franco R.M.B., Cantusio Neto R. (2002). Occurrence of *Cryptosporidial Oocysts* and *Giardia* Cysts in Bottled Mineral Water Commercialized in the City of Campinas, State of São Paulo, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* ; 97 (2) : 205-207.
- Fujiki H., Suganuma M., Suguri H. *et al.* (1990). New tumor promoters from marine natural products. Dans Hall S. and Strichartz G. (eds) *Marine toxins: Origin, Structure and molecular pharmacology*. 232-240. American Chemical society, Washington DC.
- Fujioka R.S., Unutoa T.M. (2006). Comparative stability and growth requirements of *S. aureus* and fecal indicator bacteria in seawater. *Water Sci. Technol.* ; 54 : (3) :169-175.
- Gast R.J., Moran D.M., Dennett M.R. *et al.* (2001). *Amoeba* and *Legionella pneumophila* in saline environments. *J. Water Health.* ; 9 (1) : 37-52.
- Garcia Garcia J.M., Palacios Gutiérrez J.J., Antuña A.A. (2005). Respiratory infections caused by environmental mycobacteria. *Arch. Bronconeumol.* ; 41 (4) : 206-219.
- Germain M.A., Webster W.S., Edwards M.J. (1985). Hyperthermia as a teratogen : parameters determining hyperthermia-induced head defects in the rat. *Teratology* ; 31 (2) : 265-72.
- Gerba C.P., Goyal S.M. (1998). Enteric virus: risk assessment of ocean disposal of sewage sludge. *Water Sci. Technol.* ; 20 : 25-31.
- Gianinazzi C., Schild M., Zumkehr B., *et al.* (2010). Screening of Swiss hot spring resorts for potentially pathogenic free-living *amoebae*. *Exp. Parasitol.* ; 126 : 45-53.
- Gilbert Y., Duchaine C. (2009). Bioaerosols in industrial environments : a review. The Free Library. Retrieved March 22, 2011 from [http://www.thefreelibrary.com/Bioaerosols in industrial environments: a review.- a0216041834](http://www.thefreelibrary.com/Bioaerosols+in+industrial+environments:+a+review.-+a0216041834).
- Glassroth J. (2008). Pulmonary disease due to nontuberculous mycobacteria. *Chest* ; 133 (1) : 243-51.
- Glaszer C.S., Martyny J.W., Lee B. *et al.* (2007). Nontuberculous *Mycobactéria* in aerosol droplets and bulk water samples from therapy pools and hot tubs. *J. Occup. Environ. Hyg.* ; 4 : 831-840.
- Goeres D.M., Palys T., Sandel B.B., *et al.* (2004). Evaluation of disinfectant efficacy against biofilm and suspended bacteria in a laboratory swimming pool model. *Water Res.* ; 38 : 3103-3109.
- Goeres D.M., Loetterle L.R., Hamilton M.A. (2007). A laboratory hot tub model for disinfectant efficacy evaluation. *J. Microbiol. Met.* ; 68 : 184-192.
- Goldberg D.J., Collier P.W., Fallon R.J. *et al.* (1989). Lochgoilhead fever : outbreak of non-pneumonic legionellosis due to *legionella micdadei* . *The Lancet* ; 333 (8633) : 316-318.
- Götz H.M., Tegnell A., De Jong B., *et al.* (2001). A whirlpool associated of Pontiac fever at a hotel in Northern Sweden. *Epidemiol. Infect.* ; 126 : 241-247.
- Goyer N., Lavoie J., Lazure L. *et al.* (2001). Les bioaérosols en milieu de travail : guide

d'évaluation, de contrôle et de prévention. IRSST. Bibliothèque nationale du Québec. T-23.

Graham J.M. Jr, Edwards M.J. (1998). Teratogen update: gestational effects of maternal hyperthermia due to febrile illnesses and resultant patterns of defects in humans. *Teratology* ; 58 (5) : 209-21.

Greub G, Raoult D. (2004) Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clin. Microbiol. Rev.* ; 17 (2) : 413-433.

Griffith D.E. (2007). Therapy of nontuberculous mycobacterial disease. *Curr. Opin. Infect. Dis.* ; 20 (2) : 198-203.

Groothuis D.G., Havelaar A.H., Veenendaal H.R. (1985). A note on *legionella* in whirlpools. *J. Appl. Bacteriol.* ; 58 : 479-481.

Groupe Eau – Santé. (2005). Eaux des établissements de santé : Lexique pratique.

Guha Mazumder D.N., Haque R., Ghosh N., *et al.* (1998). Arsenic levels in drinking water and the prevalence of skin lesions in West Bengal, India. *Int. J. Epidemiol.* ; 27 : 871-877.

Guichard J.C., Drutel P. (1985). La pénétration des aérosols médicamenteux dans les voies respiratoires exemples d'application en station thermale. *J. Fr. Hydrol.* ; 16 (1) : 69-85.

Gustafson T.L., Band J.D., Hutcheson R.H. *et al.* (1983). *Pseudomonas folliculitis* : an outbreak and review. *Rev. Infect. Dis.* ; 5 : 1-8.

Haag W.R. (1981). On the disappearance of chlorine in sea-water. *Water Res.* ; 15 (7) : 937-940.

Hammer K.A., Carson C.F., Tiley T.V. *et al.* (2005). A review of toxicity of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. *Food chem. Toxicol.* ; 44 (5) : 616-625.

Hansen W. (2000). *Vibrio*. Dans : *Précis de Bactériologie clinique*. Paris : Eska : p. 1330-48.

Hansson R.C., Henderson M.J., Jack P. *et al.* (1987). Iodoform taste complaints in chloramination. *Water Res.* ; 21 (10) : 1265-1271.

Hanak V., Kalra S., Aksamit T.R. *et al.* (2006). Hot tub lung : presenting features and clinical course of 21 patients. *Respir. Med.* 100 : 610-615.

Hanak V., Golbin J.M., Ryu J.H. (2007). Causes and presenting features in 85 consecutive patients with hypersensitivity pneumonitis. *Mayo Clin. Proc.* ; 82 (7) : 812-816.

Havelaar A.H., Berwald L.G., Groothuis D.G. *et al.* (1985). Mycobacteria in semi-public swimming-pools and whirlpools. *Zentralbl. Bakteriol. Mikrobiol. Hyg. B* ; 180 (5-6) : 505-14.

Health and safety Executive and Health Protection Agency. (2006). Management of Spa Pools : Controlling the Risks of Infection. Part 2 : Guidance on the control of infectious agents in spa pools. London.

Heggie T.W. (2010). Swimming with death: *Naegleria fowleri* infections in recreational waters. *Travel Medicine and Infectious Disease* ; 8 : 201-206.

Heller-Grossman L., Manka J., Limoni-Relis B. *et al.* (2001). THM, haloacetic acids and other organic DBPs formation in disinfection of bromide rich Sea of Galilee (Lake Kinneret) water. *Water Sci. Technol.: water supply* ; 1 (2) : 259-266.

Heller-Grossman L., Manka J., Limonirelis B., *et al.* (1993). Formation and distribution of haloacetic acids, THM and TOX in chlorination of bromide-rich lake water. *Water Res.* ; 27 (8) : 1323-133.

Heller R., Höller C., Süssmuth R. *et al.* (1998). Effects of salt concentration and temperature on survival of *Legionella pneumophila*. *Lett. Appl. Microbiol.* ; 26 (1) : 64-68.

- Henrickson S.E., Wong T., Allen P. *et al.* (2001). Marine swimming-related illness: Implications for monitoring and environmental policy. *Env. Health Perspectives* ; 109 (7) : 645-650.
- Henroth B., Lothigius A., Bölin I. (2010). Factors influencing survival of enterotoxigenic *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* (serovar Typhimurium) and *Vibrio parahaemolyticus* in marine environments. *FEMS Microbiol. Ecol.* ; 71 (2) : 272-280.
- Heng B.H., Goh K.T., Ng D.L. *et al.* (1997). Surveillance of legionellosis and *Legionella* bacteria in the built environment in Singapore. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore.* ; 26 : 557-565.
- Henrickson S.E., Wong T., Allen P., *et al.* (2001). Marine swimming-related illness : implications for monitoring and environmental policy. *Env. Health. Perspect.* ; 109 : 645-650.
- Hery M., Hecht G., Gerber J.M. *et al.* (1995). Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Ann. Occup. Hyg.* ; 39 (4) : 427-39.
- Hindman S.H., Favero M.S., Carson L.A. *et al.* (1975). Pyrogenic reactions during haemodialysis caused by extramural endotoxins. *Lancet* ; 7983 : 732-734.
- Hofmann R., Andrews R.C. (2001). Ammoniacal bromamines : a review of their influence on bromate formation during ozonation. *Water Res.* ; 35 (3) : 599-604.
- Hogan P.A. (1997). *Pseudomonas folliculitis*. *Austral. J. Dermatol.* ; 38 : 93-94.
- Holzwarth G., Balmer R.G., Soni L. (1984). The fate of chlorine and chloramines in cooling towers. *Water Res.* ; 18 : 1421-1427.
- Hsu B.M., Chen C.H., Wan M.T., *et al.* (2006). *Legionella* prevalence in hot spring recreation areas of Taiwan , *Water Res.* ; 40 (17) : 3267-3273.
- Hsu H.T., Chen M.J., Lin C.H. *et al.* (2009). Chloroform in indoor swimming-pool air: monitoring and modeling coupled with the effects of environmental conditions and occupant activities. *Water Res.* ; 43 (15) : 3693-704.
- Hsu C.H., Jeng W.L., Chang R.M. *et al.* (2001). Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan. *Environ. Res.* ; 85 : 77-82.
- Hua G., Reckhow D.A. (2007). Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Res.* ; 41 : 1667-1678.
- Huang X., Gao N., Deng Y. (2008). Bromate ion formation in dark chlorination and ultraviolet/chlorination for bromide-containing water. *J. Environ. Sci.* ; 20 : 246-51.
- Husson M.O., Hamzae M., Verhille S. *et al.* (2000). *Pseudomonas* et *Burkholderia*. Dans *Précis de bactériologie Clinique*. Paris: ESKA. : 1259-85.
- ICRP (1993). Protection against Radon-222 at home and at work. *Annals of the ICRP*, 23 (2). Pergamon Press, Oxford, pp. 1-48
- Insler M.S., Gore H. (1986). *Pseudomonas keratitis* and *folliculitis* from whirlpool exposure. *J. Ophthal.* ; 101 : 41-43.
- INRS (2005). Troubles d'irritation respiratoire chez les travailleurs de piscines. *Documents pour le Médecin du Travail* ; 101 : 43-64.
- INRS (2008). Affections respiratoires professionnelles non infectieuses dues aux humidificateurs / climatiseurs. *Documents pour le médecin de travail* ; 116 : 533-542.
- Institut National de Santé Publique du Québec (2009). Étude de la contamination microbiologique de spas publics au Québec.

InVS (2005). Moisissures dans l'air intérieur et santé. Épidémiologie et pollution atmosphérique. Analyse critique des publications internationales. *Extrapol.* ; (27). 32 p.

InVS (2006). Investigation de cas groupés de folliculites à *Pseudomonas aeruginosa* dans un hôtel de la Corse du Sud.

IRIS (1999). Integrated risk information system on bromoform. U.S. Environmental Protection Agency. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, D.C.

IRSN (2010). Radon dans l'eau : conséquences dosimétriques et sanitaires de l'ingestion de radon dissous dans l'eau de boisson, [http://www.irsn.fr/FR/base\\_de\\_connaissances/Environnement/radioactivite-environnement/radon/Documents/irsn\\_radon-dans-eau\\_consequences-sanitaires.pdf](http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/Environnement/radioactivite-environnement/radon/Documents/irsn_radon-dans-eau_consequences-sanitaires.pdf) 2010.

Jacobs R.L., Thorne R.E., Holcomb J.R., *et al.* (1986). Hypersensitivity Pneumonitis caused by *Cladosporium* in an enclosed Hot-Tub Area. San Antonio and Lackland Air Force Base, Texas. *Annals of Internal Medicine* ; 105 : 204-206.

Jaffar-Bandjee M.C., Alessandri J.L., Molet B., *et al.* (2005). Méningo-encéphalite primitive à amibes libres : 1er cas observé à Madagascar. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* ; 98 (1) : 11-13.

JAMA (2001). *Pseudomonas Dermatitis/Folliculitis* Associated With Pools and Hot Tubs-Colorado and Maine, 1999-2000. 285 : 157-158.

Jarraud S., Reyrolle M., Etienne J. (2000). *Legionella* et légionellose - Précis de bactériologie clinique. 1412 p. Paris : ESKA.

Jenner H.A., Taylor C.J.L., Van Donck M., *et al.* (1997). Chlorination by-products in chlorinated cooling water of some European coastal power stations. *Mar. Environ. Res.* ; 43 (4) : 279-293.

Jernigan D.B., Hoffmann J., Cetron M.S. *et al.* (1996). Outbreak of Legionnaires' disease among cruise ship passengers exposed to a contaminated whirlpool spa. *Lancet* ; 347 : 494-499.

Judd S.J., Jeffrey J.A. (1995). Trihalomethane formation during swimming pool water disinfection using hypobromous and hypochlorous acids. *Water Res.*; 29 (4) : 1203-1206.

Kahana L.M., Kay J.M., Yakus M.A. *et al.* (1997). Mycobacterium avium complex infection in an immunocompetent young adult related to hot tub exposure. *Chest.* ; 111 : 242-245.

Karcher W., Devillers J. (1990). Practical applications of Quantitative Structure-Activity Relationships (QSAR) in Environmental Chemistry and Toxicology. Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht, The Netherlands.

Kargalioglu Y., McMillian B.J., Minear R.A. *et al.* (2002). Analysis of the cytotoxicity and mutagenicity of drinking water disinfection by-products in Salmonella Typhimurium. *Teratogen. Carcinogen. Mutagen.* ; 22 : 113-128.

Karpel Vel Leitner N., Vessela J., Doré M. *et al.* (1998). Conditions de formation de composés organoiodés sapides lors de l'oxydation par le chlore d'eaux contenant des ions iodure. *Rev. Sci. Eau.* ; 11 (3) : 445-457.

Khan N.H., Ahsan M., Taylor W.D. *et al.* (2010). Culturability and Survival of Marine, Freshwater and Clinical *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbes Environ.* ; 25 (4) : 266-274.

Kanan A., Karanfil T. (2011). Formation of disinfection by-products in indoor swimming pool water: the contribution from filling water natural organic matter and swimmer body fluids. *Water Res.* ; 45 (2) : 926-932.

- Keatinge W.R., Prys-Roberts C., Cooper K.E. *et al.* (1969). Sudden failure of swimming in cold water. *Brit. med. J.* ; 1 : 480-483.
- Kim H., Weisel C.P. (1998). Dermal absorption of dichloro- and trichloroacetic acids from chlorinated water. *J. Exp. Anal. Env. Epid.* ; 8 (4) : 555-575.
- Kimanata N., Nishino T., Suzuki S. *et al.* (2004). *Pseudomonas aeruginosa* isolated from marine environments in Tokyo Bay. *Microb. Ecol.* ; 47 (1) : 41-47.
- Kjellberg S., Wiseman J.S. (1995). The relationship of radon to gastrointestinal malignancies. *Am. Surg.* ; 61 : 822-825.
- Kleeman J., Pratt B., Tanaka R., *et al.* (1983). Pseudomonas Dermatitis-Hot Tub Party Ends In Lumps and Bumps. Bulletin. State of Alaska epidemiology (2).
- Kogevinas M., Villanueva C.M., Font-Ribera L. *et al.* (2010). Genotoxic effects in swimmers exposed to disinfection by-products in indoor swimming pools. *Environ. Health. Persp.* ; 118 : 1531-1537.
- Kolmogorov A.N. (1949). On the breakage of drops in a turbulent flow. Dokl Akad Navk. SSSR 66, 825-828.
- Köteles G.J. (2007). Radon risks in spas. *CEJOEMI* ; 13 (1) : 3-16.
- Koudjonou B.K. (1996). Étude des conditions de formation des ions bromate lors de l'ozonation des eaux contenant des ions bromure. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers. 171 p.
- Krasner S., Weinberg H., Richardson S. *et al.* (2006). Occurrence of a new generation of disinfection by product. *Environ. Sci. Tech.* ; 40 (23) : 7175-7185.
- Kristiana I., Gallard H., Joll C. *et al.* (2009). The formation of halogen-specific TOX from chlorination and chloramination of natural organic matter isolates. *Water Res.* ; 43 : 4177-4186.
- Kristiansen N.K., Froeshaug M., Aune K.T. *et al.* (1994). Identification of halogenated compounds in chlorinated seawater and drinking water produced offshore using n-pentane extraction and open-loop stripping technique. *Environ. Sci. Technol.* ; 28 (9) : 1669–1673.
- Kush B.J., Hoadley A.W. (1980). A preliminary survey of the association of *Pseudomonas aeruginosa* with commercial whirlpool bath waters. *Am. J. Public Health.* ; 70 : 279-281.
- Lakind J.S., Richardson S.D., Blount B.C. (2010). The good, the bad, and the volatile: can we have both healthy pools and healthy people ? *Environ. Sci. Technol.* ; 44 : 3205-3210.
- Lasek-Nesselquist E., Bogomolni A.L., Gast R.J. *et al.* (2008). Molecular characterization of *Giardia intestinalis* haplotypes in marine animals: variation and zoonotic potential. *Dis. Aquat. Organ.* ; 81 (1) : 39-51.
- Lawrence M. (1990). Swimming pool with waves: quality of air disturbed. *Pollution Atmosphérique* ; 127 : 330-331.
- Le Chevallier M.W., Babcock T.M., Lee. R.G. (1987). Examination and characterization of distribution system biofilm. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 53 : 2714-2724.
- Leclerc H., Ruimy R., Tancrède-Bohin E. *et al.* (2002). Le danger de *Pseudomonas aeruginosa* dans les installations thermales. *Presse therm. clim.* ; 139 : 35-40.
- Leclerc H., Moreau A. (2002). Microbiological safety of natural mineral water. *Fems Microbiology reviews* ; 26 : 207-222.



- Lee J., Ha K.T., Zoh K.D. (2009). Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Sci. Total Envi.* ; 407 : 1990-1997.
- Lee J., Jun M.J., Lee M.H. *et al.* (2010). Production of various disinfection byproducts in indoor swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Int. J. Hyg. Envir. Heal.* ; 213 : 465-474.
- Lee Y.J. (2009). Investigation of chemical and bacterial quality in korean public bath facilities. *Asian J. Chem.* ; 21 (3) : 2321-2330.
- Legnani P., Leoni E., Rapuano S., *et al.*, (1999). Survival and growth of *Pseudomonas aeruginosa* in natural mineral water : a 5-year study. *Int. J. Food Microbial.* ; 53 : 153-159.
- Lehman G., Knoffel P.K. (1938). Trichlorethanol, tribromoethanol, chloral hydrate and bromal hydrate, *J. Pharmacol. Exp. Ther.* ; 63 : 453-465.
- Lewis, E.R., Schwartz S.E. (2004). Sea salt aerosol production. Mechanisms, methods, measurements, and models. Washington, DC: American Geophysical Union.
- Li C., Benjamin M.M., Korshin G.V. (2002). The relationship between TOX formation and spectral changes accompanying chlorination of pre-concentrated or fractionated NOM. *Water Res.*; 36 : 3265–3272.
- Li D.K., Janevic T., Odouli R. *et al.* (2003). Hot tub use during pregnancy and the risk of miscarriage. *Am. J. epidemiol.* ; 158 (10) : 931-937.
- Li J., Blatchley E.R. III. (2007). Volatile disinfection byproduct formation resulting from chlorination of organic-nitrogen precursors in swimming pools. *Environ. Sci. Technol.* ; 41 : 6732-6739.
- Li B., Qu J.H., Liu H.J. *et al.* (2008). Formation and distribution of disinfection by-products during chorine disinfection in the presence of bromide ion. *Chi. Sci. Bull.* ; 53 (17) : 2717-2723.
- Lighthart B. *et* Mohr A. (1987). Estimating downwind concentrations of viable airborne microorganisms in dynamic atmospheric conditions. *App. Environ. Microbiol.* ; 53 : 1580-1583.
- Livanainen E.K., Martikainen P.J., Räisänen M.L. *et al.* (1997). *Mycobacteria* in arboreal coniferous forest soils. *FEMS Microbiology Ecology* ; 23 : 325–332.
- Liu H., Ha Y.R., Lee S.T., *et al.*, (2006). Genetic diversity of *Acanthamoeba* isolates from ocean sediments. *Korean J. Parasitology* ; 44 (2) : 117-125.
- Lourencetti C., Ballester C., Fernández P., *et al.* (2010). New method for determination of trihalomethanes in exhaled breath : Applications to swimming pool and bath environments. *Anal. Chim. Acta.* ; 662 : 23-30.
- Lucas F., Moulin L., Haenn S., *et al.* (2007) Action. Mycobactéries non tuberculeuses. Piren Rapport action MNT.doc : 1-21.
- Lumb R., Stapledon R., Scroop A. *et al.* (2004). Investigation of spa pools asociated with lung disorders caused by *Mycobacterium avium* complex in immunocompetent adults. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 70 (8) : 4906-4910.
- Lutz J.K., Lee J. (2011). Prevalence and antimicrobial-resistance of *Pseudomonas aeruginosa* in swimming pools and hot tub. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* ; 8 : 554-564.
- Luo X.H., Clevenger T.E. (2005). Role of NOM in the formation of N-nitrosodimethylamine (NDMA) in surface waters. Deng BLConference : 229th National Meeting of the American-Chemical-Society .San Diego.

- Luurila O.J. (1980). Arrhythmias and other cardiovascular responses during Finnish sauna and exercise testing in healthy men and post-myocardial infarction patients. *Acta Med. Scand.* ; 641 (suppl) : 1-60.
- Macalady D.L., Carpenter J.H., Moore C.A. (1977). Sunlight induced bromate formation in chlorinated seawater. *Science* ; 195 : 1335-1337.
- Mc Evoy M., Batchelor N., Hamilton G. *et al.* (2000). A cluster of cases of legionnaires' disease with exposure to a spa pool on display. *Commun. Dis. Public. Health.* ; 3 : 43-45.
- Magana-Ordorica D., Mena K., Valdez-Torres J.B., *et al.* (2010). Relationships between the occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* and physicochemical properties of marine waters of the Pacific Coast of Mexico. *J. Water Health.* ; 8 (4) : 797-802.
- Mangione E., Remis R.S., Tait K.A. *et al.* (2001). Nontuberculous mycobacterial disease following hot tub exposure. *Emerg. Infect. Dis.* ; 7 (6) : 1039-1042.
- Mangione E.J, Remis R.S., Tait K.A. *et al.* (1985). An outbreak of Pontiac Fever Related to Whirlpool Use. *JAMA* ; 253 : 535-539.
- Marcaillou C., Mondeguer F., Gentien P. (2005). Contribution to toxicity assessment of *Dinophysis acuminata* (Dinophyceae). *J. Appl. Phycol.* ; 17 (2) : 155-160.
- Marshall J.D., Faber J.E., Campbel W.R. (1962). Advantages and limitations of iodine disinfection of an indoor swimming pool : I. *Bacteriological analysis. A.J.P.H.* ; 52 (7) : 1179-1185.
- Marthi B., Fieland V.P., Walter M. *et al.* (1990). Survival of bacteria during aerosolization. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 56 (11) : 3463-3467.
- Martinelli F., Carasi S., Scarcella C. *et al.* (2001). Detection of *Legionella pneumophila* at the thermal spas. *Microbiologica* ; 24 : 259-264.
- Massin N., Bohadana A.B., Wild P. *et al.* (1998). Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. *Occup. Environ. Med.* ; 55 : 258-263.
- Maushart R. (2005). Biologische wirkungen niedriger Strehlendosen. *Strahlenschutzpraxis* ; 11 : 58-60.
- Medoff G., Kobayashi G.S. (1999). Mycoses systémiques dues à des champignons opportunistes. In: Microbiologie et pathologie infectieuse. Paris : DeBoeck Université. pp. 574-8.
- Melnick R.L., Nyska A., Foster P.M. *et al.* (2007). Toxicity and carcinogenicity of the water disinfection byproduct, dibromoacetic acid, in rats and mice. *Toxicol.* ; 230 : 126-136.
- Mena KD., Gerba C.P. (2009). Risk assessment of *Pseudomonas aeruginosa* in water. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* ; 201 : 71-115.
- Millero F.J., Feistel R., Wreight D.G., *et al.* (2008). The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition salinity Scale. *Deep-Sea Research* ; 55 : 50-72.
- Milunsky A., Ulcickas M., Rothman K.J. *et al.* (1992). Maternal heat exposure and neural tube defects. *JAMA* ; 268 (7) : 882-5.
- Modi A., Gardner J., Lighton L. *et al.* (2008). Pontiac fever outbreak associated with a spa-pool, United-Kingdom, April 2008. *Eurosurveillance* ; 13 (30) : 7-9.
- Molina D., Colon M., Bermudez R.H. *et al.* (1991). Unusual presentation of *Pseudomonas aeruginosa* infections : a review. *Bol. Assoc. Med.* ; 83 : 160-163.

- Molmeret M., Jarraud S., Morin J.P. *et al.* (2001). Different growth in *amoeba* of genotypically related environmental and clinical *Legionella pneumophila* strains isolated from a thermal spa. *Epidemiol infect.* ; 126 : 231-239.
- Moore J.E., Heaney N., Millar B.C., *et al.* (2002). Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun. Dis. Public Health* ; 5 : 23-26.
- Moretti ME, Bar-Oz B, Fried S, Koren G. (2005). Maternal hyperthermia and the risk for neural tube defects in offspring: systematic review and meta-analysis. *Epidemiology.* ; 16 (2) : 216- 19.
- Moritz M.M., Flemming H.C., Wingender J. (2010). Integration of *Pseudomonas aeruginosa* and *Legionella pneumophila* in drinking water biofilms grown on domestic plumbing materials. *Int. J. Hyg. Environ. Health* ; 213 : 190-197.
- Moulinier C. (2002). Parasitologie et mycologie médicales : éléments de morphologie et de biologie. Ed. Techniques & Doc.
- Mouly D., Joulin E., Rosin C. *et al.* (2010). L'exposition des Français aux sous-produits de chloration. *TSM.* ; 15 : 51-59.
- Mynderse J.S., Moore R.E., Kashiwaga M., *et al.*, (1977). Antileukemia activity in the *Oscillatoriaceae*: isolation of debromoaplysia toxin from *Lyngbya*. *Science.* 196 : 538–540.
- Na C., Olson T. (2004). Stability of Cyanogen Chloride in the Presence of Free Chlorine and Monochloramine. *Environ. Sci. Technol.* ; 38 (22) : 6037–6043.
- Nakadate T., Yamauchi K., Inoue H. (1999). An outbreak of Legionnaire's disease associated with a japanese spa. *Nihon Kokyuki Gakkai Zasshi.* ; 37 (8) : 601-607.
- Nakamura H., Yagyu H., Kishi K. *et al.* (2003). A large outbreak of Legionnaires' disease due to an inadequate circulating and filtration system for bath water. *Internal Medicine* ; 42 (9) : 806-811.
- Nichols R.A., Paton C.A., Smith H.V., (2004). Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts after prolonged exposure to still natural mineral waters. *J. Food Prot.* ; 67 (3) : 517-523.
- Nicolay N., Thiolet J.M., Talon D. (2008). Signalement des infections nosocomiales à *Pseudomonas aeruginosa*, France, Août 2001 - Juin 2006. *BEH* ; 30-31.
- NIOSH. (2005). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards : Bromoform. *NIOSH publication 2005-149*. En ligne: <http://www.cdc.gov/niosh/npgd/npgd0066.html>
- Nodet P. (2000). Rôle des excipients dans les tests épicutanés médicamenteux pour le bilan des taxidermies. Mémoire du diplôme d'études spécialisées de pharmacie hospitalière et des collectivités. Université de Nancy.
- NSW Department of Health. (2010). Final Draft. Public Swimming pool and Spa Pool Code of practice. May 2010.
- Ohya H., Suzuki T., Nakao S. (2001). Integrated system for complete usage of components in seawater: a proposal of inorganic chemical combination seawater. *Desalination* ; 134 : 29-36.
- OMS (2000). Guidelines for safe recreational water environments - Volume 2 - Swimming pools, Spas and similar recreational - water environments, Final draft.
- OMS (2003). Guidelines for safe recreational water environments - Volume 1 - Coastal and fresh waters. 219p.
- OMS (2003 b). Cyanide in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality.

- OMS. (2005). Water Recreational and Disease Plausibility of Infections : Acute Effects, Sequelae and Mortality. London-Seattle : 239 p.
- OMS. (2006). Guidelines for safe recreational waters. Volume 2 - Swimming pools and similar recreational-water environments. Geneve : OMS. 118 p.
- OMS. (2008). Guidelines for Drinking-water Quality, 3rd edition, incorporating the 1st and 2nd addenda, Volume 1, chapter 9 Radiological aspects.
- OMS (2011). Guidelines for drinking-water quality. Fourth Edition. Geneve. 541 p.
- Pandian T.K., Deziel P.J., Otley C.C. *et al.* (2008). *Mycobacterium marinum* infections in transplant recipients : case report and review of the literature. *Transpl. Infect. Dis.* ; 10 : 358-363.
- Panteix G. (2000). Mycobactéries autres que les mycobactéries de la tuberculose (MAMT). Dans : *Précis de bactériologie clinique*. Paris : ESKA. p. 1057-65.
- Paquin J.L., Block J.C., Haudidier K., *et al.* (1992). Effet du chlore sur la colonisation bactérienne d'un réseau expérimental de distribution d'eau. *Science Eau.* ; 5 : 399-414.
- Parinet J., Tabaries S., Coulomb B., *et al.* (2012) Exposure levels to brominated compounds in seawater swimming pools treated with chlorine. *Water Res.* ; 46 (3) : 828-836.
- Parrat J. (2008). Évaluation de l'exposition à la trichloramine atmosphérique des maîtres nageurs, employés et utilisateurs publics des piscines couvertes des cantons de Fribourg, Neuchâtel et du Jura. Laboratoire intercantonal de santé au travail- LIST.
- Parker P.C., Boles R.G. (1997). *Pseudomonas* otitis media and *bacteremia* following a water birth. *Pediatrics* ; 4 : 653.
- Parker B.C., Fordm A., Gruft H., *et al.* (1983). Epidemiology of infection by nontuberculous mycobacteria. IV. Preferential aerosolization of *Mycobacterium intracellulare* from natural waters. *Am. Rev. Respir. Dis.* ; 126 : 652 -656.
- Pécastaings S. (2010). Apport de modèles de biofilms à *Pseudomonas aeruginosa* et *Legionella pneumophila* à la maîtrise de la qualité microbiologique des réseaux d'eaux minérales naturelle – thèse de doctorat de l'Université de Toulouse.
- Pegram R.A., Andersen M.E., Warren S.H. *et al.* (1997). Glutathione S-transferase-mediated mutagenicity of trihalomethanes in *Salmonella typhimurium*: contrasting results with bromodichloromethane and chloroform. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* ; 144 : 183-188.
- Pena-Ares M., Paniagua-Crespq E., Madriñan-Choren R., *et al.* (1994). Isolation of free-living pathogenic *amoebae* from thermal spa in N. W. Spain. *Water, air and Soil Pollut.* ; 78 : 83-90.
- Peters R.J.B., Deleer E.W.B., Degalan L. (1990). Chlorination of cyanoethanoic acid in aqueous medium. *Environ. Sci. Tech.* ; 24 : 81-86.
- Plano L.R.W., Garza A.C., Shibata T. *et al.* (2011). Shedding of *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from adult and pediatric bathers in marine waters. *BMC microbiol.* ; 11 : 5.
- Plewa M.J., Kargalioglu Y., Vankerk D. *et al.* (2002). Mammalian cell cytotoxicity and genotoxicity analysis of drinking water disinfection by-products. *Environ. Mol. Mutagen.* ; 40 : 134-142.
- Plewa M.J., Wagner E.D., Richardson S.D. *et al.* (2004). Chemical and biological characterisation of newly discovered iodoacid drinking water disinfection byproducts. *Environ. Sci. Technol.* ; 38 : 4713-4722.

- Plewa M.J., Simmons J.E., Richardson S.D. *et al.* (2010). Mammalian cell cytotoxicity and genotoxicity of the haloacetic acids, a major class of drinking water disinfection by-products. *Environ. Mol. Mutagen.* ; 51 : 871-878.
- Pohl E. (1979) Physical basis for radon therapy : Organ and tissue doses and its implication for patients and personel. Int radon-symposium Bad Münster am Stein-Ebemburg 25-27 Mai 1979. *Z. angew. Bader-Klimaheilk.* 26 (4) : 370-379.
- Pommepeuy M., Caprais M.P., Le Saux J.C., *et al.*, (2003). Evaluation of viral shellfish depuration in a semi-professional size tank. In « Molluscan Shellfish Safety », edt A. Villalba, B. Reguera, Romalde J.L, R Beiras, 485-499.
- Pool water treatment advisory group, Sport England, Department for Education and employment *et al.*(2009). Swimming pool water. Treatment and quality standards for pools and spas. 202 p.
- Price D., Ahearn D.G. (1988). Incidence and persistence of *Pseudomonas aeruginosa* in whirlpools. *J. Clin. Microbiol.* ; 26 : 1650-1654.
- Ramos A., Brun J.L., Leng J.J. (2002). Principales complications de la grossesse. Fièvre et grossesse. *Rev. Prat.* ; 52 (1) : 85-90.
- Rapenne S. (2007). Dessalement d'eaux de mer par osmose inverse : impact des procédés conventionnels sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la ressource et étude du colmatage. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 28 juin 2007.
- Rappala J., Lahti K., Rasanen L.A. *et al.* (2002). Endotoxins associated with *cyanobacteria* and their removal during drinking water treatment. *Water Res.* ; 36 : 2627-2635.
- Ratnam S., Hogan K., March S.B. *et al.* (1986). Whirlpool-associated folliculitis caused by *Pseudomonas aeruginosa*: report of an outbreak and review. *J. Clin. Microbiol.* ; 23 : 655-659.
- Ribeiro I.F.F., Heitor A.M., Nogueira J.M.L. (2011). Occurrence of chlorite and chlorate in swimming pool water. 4<sup>th</sup> International Conference swimming pool and spas Porto (Portugal).
- Richardson S.D., Plewa M.J., Wagner E.D. *et al.* (2007). Occurrence, genotoxicity and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water : a review and roadmap for research. *Mutat. Res.* ; 636 : 178-242.
- Richardson S.D., DeMarini D.M., Kogevinas M. *et al.* (2010). What's in the pool ? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. *Environmental Health Perspectives* ; 118 : 1523-1530.
- Robertson L.J., Campbell A.T., Smith H.V., (1992). Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts under environmental pressures. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 58 (11) : 3494-500.
- Roccaro P., Chang H.S., Vagliasindi F.G.A. *et al.* (2008). Differential absorbance study of effects of temperature on chlorine consumption and formation of disinfection by-products in chlorinated water. *Water Res.* ; 42 : 1879-1888.
- Rodriguez M.J., Serodes J.B. (2001). Spatial and temporal evolution of trihalomethanes in three water distributionsystems, *Water Res.* ; 35 (6) : 1572-1586.
- Rose C.S., Martyny J.W., Newman L.S. *et al.* (1998). Lifeguard lung : Endemic granulomatous pneumotisis in an indoor swimming pool. *Am. J. Public Health.*; 88 : 1795-1800.
- Rotily M., Potelon J.L. (1991). Les pathologies liées au bain dans les spas publics. *BEH* 46/1991 : 1999-200
- Ruscoe Q., Hill S., Blackmore T. *et al.* (2006). An outbreak of *Legionella pneumophila* suspected to be associated with spa pools on display at a retail store in New Zealand. *New Zeal. Med. J.* ; 119

(1243) : 1-8.

Salmen P., Dwyer D.M., Vorse H. *et al.* (1983). Whirlpool-associated *Pseudomonas aeruginosa* urinary tract infections. *JAMA* ; 250 (15) : 2025-2026.

Samples J.R., Binder P.S., Luibel F.J. *et al.* (1984). *Acanthamoeba* keratitis. Possibly acquired from a Hot Tub. *Arch. Ophthalmol.* ; 102 : 707-710.

Sandford M.K., Kissling G.E., Joubert P.E. (1992). Neural tube defect etiology : new evidence concerning maternal hyperthermia, health and diet. *Dev. Med. Child. Neurol.* ; 34 (8) : 661-75.

Santé Canada (2008). Document de conseils sur l'hydrate de chloral dans l'eau potable. Ottawa (Ontario) : Santé Canada. 28 p.

Santé Canada (2010). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique : les trihalométhanes. 70 p.

Santé Canada (2011). Protozoaires entériques : *Giardia* et *Cryptosporidium*. Document technique pour consultation publique. Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable. 101 p.

Sasaki J., Yamaguchi A., Nabeshima Y. *et al.* (1995). Exercise at high temperature causes maternal hyperthermia and fetal anomalies in rats. *Teratology* ; 51 (4) : 233-6.

Sax N., Lewis R. (1987). Hawley's condensed chemical dictionary. New York (N.Y.) : Van Nostrand Reinhold Co.

Scaglia M., Strosselli M., Grazioli V. *et al.* (1983). Isolation and identification of pathogenic *Naegleria australiensis* (Amoebida, Vahlkampfiidae) from a spa in northern Italy. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 46 (6) : 1282-5.

Scharlin P. (1987). Evaluation of pKa Values for Bromodichloromethane, chlorodibromomethane and Tribromomethane from Kinetic Acidities. *Acta Chem. Scand.* ; A41 : 480-3.

Schmoll B., Kellner R., Breuer D. *et al.* (2009). Trichloramin in der Schwimmhallenluft- Ergebnisse aus dem Forschungs-projekt der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. *Archiv. des Badewesens* ; 10 : 591-611.

Schoen M.E., Ashbolt N.J. (2011). An in-promise model for *Legionella* exposure during showering events. *Water Res.* ; 45 (18) : 5826-5836.

Schulze-Röbbecke R., Buchholtz K. (1992). Heat susceptibility of aquatic *mycobacteria*. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 58 (6) : 1869-73.

Sebez S. (2011). Présentation des valeurs seuils utilisées dans les situations d'urgence pour une exposition aux produits chimiques toxiques ou corrosifs dans l'air, Québec, Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale, Direction régionale de santé publique, 32 p.

Senta A., Zebec M., Jakovcic T. (1996). Changes of some sulfuric thermal water characteristics due to chlorination. *Arch. Hig. radon toksikol.* ; 47 (4) : 369- 380.

Shaw J.W. (1984). A retrospective comparison of the effectiveness of bromination and chlorination in controlling *P. aeruginosa* in spas in Alberta. *Can. J. Public Health* ; 75 : 61-68.

Shi H., Adams C. (2009). Rapid IC-ICP/MS method for simultaneous analysis of iodoacetic acids, bromoacetic acids, bromate, and other related halogenated compounds in water. *Talanta* ; 79 : 523-527.

Siddiqui M.S., Amy G. (1993). Factors affecting DBP formation during ozone-bromide reactions. *J. Am. Water Works Ass.* ; 85 (1) : 63-72.

Simard S. (2009). Occurrence des sous-produits de la désinfection dans l'eau des piscines publiques de la ville de Québec. Mémoire de maître ès science. Université de Laval (Québec).

- Simon-Rigaud M.L., Eechout C., Bourdin H. *et al.* (1997). Hyperactivité bronchique et natation. Influence de l'entraînement en atmosphère chlorée. *Sci. Sports* ; 12 (2) : 142-7.
- Smith E.M., Plewa M.J., Lindell C.L. *et al.* (2010). Comparison of by-products formation in waters treated with chlorine and iodine : relevance to point-of-use treatment. *Environ. Sci. technol.* ; 44 : 8446-8452.
- Sood A., Sreedhar R., Kulkarni P. *et al.* (2007). Hypersensitivity pneumonitis-like granulomatous lung disease with nontuberculous Mycobacteria from exposure to hot water aerosols. *Environ. health persp.* ; 115 : 262-266.
- Spitalny K.C., Vogt R.L., Orciari L.A. *et al.* (1984). Pontiac fever associated with a whirlpool spa. *Am. J. Epidemiol.* ; 120 (6) : 809-817.
- Springer G.L., Shapiro E.D. (1985). Fresh water swimming as a risk for otitis externa : a case-control study. *Arch. Environ. Health.* ; 40 : 202-206.
- Squinazi F. (2006). Biofilm et matériaux des réseaux intérieurs de distribution d'eau. LHVP.
- Stanley J., Buchheit M., Peake J.M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *Eur J. Appl. Physiol.* ; 112 (3) : 951-961.
- Stetzenbach L.D. (1992). Airborne microorganisms in Ledeborg (ed). Encyclopedia of microbiology . Academic Press. San Diego, Calif p55-666
- Stolp H. (1996). Chapter IV : The natural environments of microorganisms in "Microbial Ecology: Organisms, habitats, activities", pp 132-136, Edited by the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, 284 pp.
- Stoodley P., Wilson S., Hall-Stoodley L., *et al.* (2001). Growth and detachment of cell clusters from mature mixed-species biofilms. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 67: 5602-5613.
- Su H.J., Chao C.J., Chang H.Y. *et al.* (2006). The effects of evaporating essential oils on indoor air quality. *Atmos. Environ.* ; 41 : 1230-1236.
- Sugiura M., Hayakawa R., Kato Y. *et al.* (2001). Results of patch testing with lavender oil in Japan. *Contact Dermatitis* ; 43 (3) : 157-160.
- Sukthana Y., Lekla A., Sutthikornchai C. *et al.* (2005). Spa, springs and safety. Southeast. *Asian J. Trop. Med. Public Health* ; 36 Suppl 4 : 10-6.
- Summerhayes C.P., Thorpe S.A. (1996). Oceanography, An Illustrated Guide, John Wiley & Sons Ed., New York.
- Sun Y.X., Wu Q.Y., Hu H.Y. *et al.* (2009). Effect of bromide on the formation of disinfection by-products during wastewater chlorination. *Water Res.* ; 43 : 2391-2398.
- Szewzyk U., Szewzyk R., Manz W. *et al.* (2000). Microbial safety of drinking water. *Annu. Rev. Microbiol.* ; 54 : 81-127.
- Tanaskovic I., Golobocanin D., Petrovic S.K., *et al.* (2011). Natural Radioactivity in Serbian Spa Waters. *J. Environ. Protec. Ecol.* ; 12 (1) : 286-294.
- Taylor R.H., Falkinham J.O., Norton C.D. *et al.* (2000). Chlorine, chloramine, chlorine dioxide, and ozone susceptibility of *Mycobacterium avium*. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 66 (4) : 1702-1705.
- Taytard et Texier-Maugein. <http://www.respir.com/doc/abonne/base/MycobacteriesAtypiques.asp>

- Thacker N.P., Nitnaware V. (2003). Factors Influencing Formation of Trihalomethanes in Swimming Pool Water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* ; 71 : 633-640.
- Tipton M.J. (1989). The initial responses to cold-water immersion in man. *Clinical Science* ; 77 : 581–588.
- Tolentino A., Ahkee S., Ramirez J. (1996). Hot tub legionellosis. *KMA Journal* ; 94 : 393-394.
- Torvinen E., Lehtola M.J., Martikainen P.J. *et al.* (2007). Survival of *Mycobacterium avium* in drinking water biofilms as affected by water flow velocity, availability of phosphorus, and temperature. *Appl. Environ. Microbiol.* ; 73 : 6201-6207.
- Toxnet. (2010). Toxicology Data Network. En ligne : <http://toxnet.nlm.nih.gov>
- Travaline J.M., Kelen S.G. (2003). Hypersensitivity pneumonitis associated with hot tub use. *Arch. Intern. Med.* ; 163 (18) : 2250.
- Tseng W.P., Chu H.M., How S.W., *et al.* (1968). Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. *J. Natl. Cancer. Inst.* ; 40 :453-463.
- Tsuchiya Y., Terao M., Fujimoto T. *et al.* (2005). Effects of Japan sea proper water on the growth of *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Environ. Health. Prev. Med.* ; 10 : 233-238.
- Ueno H., Moto T., Sayato Y. *et al.* (1996). Disinfection by-products in the chlorination of organic nitrogen compounds: By-products from kynurenine. *Chemosphere* ; 33 : 1425-1433.
- Uyak V., Toroz I. (2007). Investigation of bromide ion effects on disinfection by-products formation and speciation in an Istanbul water supply. *J. Hazard. Mater.* ; 149 : 445-451.
- Vaile J., Halson S., Gill N. (2008). Effect of Hydrotherapy on Recovery from Fatigue. *Int. J. Sports Medicine* ; 29 (7) : 539-44..
- Van der Wende E., Characklis W.G., Smith D.B. (1989). Biofilms and bacterial drinking water quality. *Water Res.* ; 23 : 1313-1322.
- Van Oss C.J. (1975). The influence of the size and shape of molecules and particles on their electrophoretic mobility. *Separ. Purif. Meth.* ; 4 : 167-188.
- Verma G., Jamieson F., Chedore P., *et al.* (2007). Hot tub lung mimicking classic acute chronic hypersensitivity pneumonitis : two case reports. *Can. Respir. J.* ; 14 (6) : 354-356.
- Vess R.W., Anderson R.L., Carr J.H. *et al.* (1993). The colonization of solid PVC surfaces and the acquisition of resistance to germicides by water micro-organisms. *J. Appl. Microbiol.* ; 74 (2) : 215-221.
- Viriote D., Golliot. F., Basset D. (2010). Cas groupés de giardiose lors d'une croisière fluviale en Languedoc-Roussillon, France, septembre-octobre 2008. *BEH* ; 48 : 494-496.
- Vitte T., Brau J., Chagnon N. *et al.* (2008). Proposal for a new hybrid control strategy of a solar dessicant evaporative cooling air handling unit. *Energ Buildings.*; 40 (5) : 896-905.
- Von Gunten U., Hoigné J. (1994). Ozonation of Bromide-Containing Waters: Bromate Formation through Ozone and Hydroxyl Radicals. *Disinfection By-Products in Water Treatment*, Minear, R.A. and G.L. Amy (editors). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Von Gunten U. (2003). Ozonation of drinking waters: Part.I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Res.* ; 37 (7) : 1443-1467.
- Yang X., Shang C., Westerhoff P. (2007). Factors affecting formation of haloacetonitriles,



- haloketones, chloropicrin, and cyanogens halides during chloramination. *Wat. Res.* ; 41 : 1193-1200.
- Yoder J.S., Hlavsa M.C., Craun G.F. *et al.* (2008). Surveillance for Waterborne disease and outbreaks associated with recreational water use and other aquatic facility-associated health events-United States 2005-2006. *MMWR* 57 (SS09) : 1-29.
- Yu Y., Cheng A.S., Wang L., *et al.* (2007). Hot tub folliculitis or hot hand-foot syndrome caused by *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Am. Acad. Dermatol.* ; 57 (4) : 596-600.
- Yu J., Kim D., Lee T. (2010). Microbial diversity in biofilms on water distribution pipes of different materials. *Water Sci. Technol.* ; 61 : 163-171.
- Walse S.S., Mitch W.A. (2008). Nitrosamine carcinogens also swim in chlorinated pools. *Environ. Sci. Technol.* ; 38 (42) : 1032-1037.
- Wang H., Liu D.M., Zhao Z.W., *et al.* (2010). Factors influencing the formation of chlorination brominated trihalomethanes in drinking waters. *J. Zhejiang Univ-Sci. A.* ; 11 : 143-150.
- Waninger K.N., Young J.F. (2006). Hot tub lung: Is it on your list of respiratory ailments? *J. Fam. Pract.* ; 55 (8) :694-696.
- Weaver W.A., Li J., Wen Y., *et al.* (2009). Volatile disinfection by-product analysis form chlorinated indoor swimming pools. *Water Res.* ; 43 : 3308-3318.
- Wendt S.L., George K.L., Parker B.C. *et al.* (1980). Epidemiology of infection of non-tuberculous mycobacteria III. Isolation of potentially pathogenic mycobacteria from aerosols. *Am. Rev. Respir. Dis.* ; 122 : 259-263.
- Westerhoff P., Chao P., Mash H. (2004). Reactivity of natural organic matter with aqueous chlorine and bromine. *Water Res.* ; 38 : 1502-1513.
- White GS. (1972) Handbook of chlorination. New York, Cincinnati: Van Nostrand Reinhold Cp, 972.
- White G.C. (1992). The Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Wishnok J.S., Snow K., Woolworth V. (1982). Passage of nitrosamines through animal membranes. *IARC Sci. Publ.* ; 41 : 435-442.
- Wong G.T.F. (1979). The effects of light on the dissipation of chlorine in sea-water. *Water Res.* ; 14 (9) : 1263–1268.
- Wow company. En ligne : <http://wave.wowcompany.com/FR/la-boule-a-vagues.22.html>, consulté le 22 juillet 2010.
- Wyn-Jones AP., Carducci A., Cook N. *et al.* (2011). Surveillance of adenoviruses and noroviruses in European recreational waters. *Water Res.* 45 (3) : 1025-1038.
- Xi J., Longest P.W. (2009). Characterization of Submicrometer Aerosol Deposition in Extrathoracic Airways during Nasal Exhalation. *AS&T* ; 43 (8) : 808-827.
- Xu X., Mariano T.M., Laskin J.D. *et al.* (2002). Percutaneous absorption of trihalomethanes, haloacetic acids, and halo ketones. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* ; 184 (1) : 19-26.
- Zhang Y.J., Zhou L.L., Zeng G. *et al.* (2010). Factors affecting the formation of trihalomethanes in the presence of bromide during chloramination. *J. Zhejiang. Univ-Sci. A.* ; 11 (8) : 606-612.
- Ziza J.M., Desplaces N. (2006). Infections ostéoarticulaires à mycobactéries atypiques. *Revue du rhumatisme* ; 73 : 394-400.


Zwiener C., Richardson S.D., DeMarini D.M. *et al.* (2007). Drowning in disinfection by-products? Assessing swimming pool water. *Environ. Sci. Technol.* ; 41 (2) : 363-72.

---

## **ANNEXES**

---

## Annexe 1 : Lettre de saisine



LIBERTÉ - ÉGALITÉ - FRATERNITÉ  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la santé et des solidarités Direction générale de la santé DGS/SD7A - N° 1537	Ministère de l'écologie et du développement durable Direction de l'eau Direction de la prévention des pollutions et des risques
--	---

**COURRIER REÇU LE**

**0 2 JAN. 2007**

Paris, le

Le Directeur général de la santé  
 Le Directeur de l'eau  
 Le Directeur de la prévention des pollutions et des risques

à

Madame la Directrice Générale de  
 l'Agence Française de Sécurité  
 Sanitaire de l'Environnement et du  
 Travail  
 253, avenue du Général Leclerc  
 94703 Maisons Afort cedex

*Adressé à la DGS*

*COPIES 4000*

**Objet :** Evaluation des risques sanitaires liés aux baignades

**PJ :** 1. Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE

2. Eléments de réflexion sur les baignades atypiques.

La sécurité sanitaire des eaux de baignade et des piscines est encadrée par les articles L.1332-1 à L.1332-4 et D.1332-1 à D.1332-19 du code de la santé publique, dont l'adoption remonte aux années 1980. Depuis cette date, l'évolution des connaissances scientifiques et techniques concernant les risques sanitaires liés à la baignade (cf. études réalisées par l'OMS notamment), l'évolution des pratiques de loisirs aquatiques et le développement de nouveaux types de zones de baignades artificielles, dont l'eau est traitée mais qui ne correspondent pas aux piscines classiques, justifient une actualisation du dispositif de gestion des risques sanitaires de ces eaux.

Par ailleurs, la gestion des risques liés à certaines catégories de baignades fait l'objet d'une nouvelle directive, abrogeant à terme la directive 76/160/CEE actuellement appliquée (cf. pièce jointe). En particulier, cette nouvelle directive ne s'applique pas :

- a) aux bassins de natation et de cure ;
- b) aux eaux captives qui sont soumises à un traitement ou sont utilisées à des fins thérapeutiques ;
- c) aux eaux captives artificielles séparées des eaux de surface et des eaux souterraines.

Cette directive devra être transposée en droit français au plus tard le 24 mars 2008.

1/3

C'est pourquoi, il est nécessaire de réformer la législation et la réglementation applicables aux baignades, afin d'une part de transposer la nouvelle directive, et d'autre part d'encadrer juridiquement certaines baignades, exclues du champ de la nouvelle directive européenne (notamment les baignades de types b) et c) mentionnées ci dessus, dont font partie les eaux captives, les gravières, les baignades atypiques, les baignades traitées, ...).

La directive 2006/7/CE prévoit une surveillance de la qualité des eaux de baignade, incluant des mesures analytiques de paramètres microbiologiques et destinée à classer ces eaux de baignades en fin de saison balnéaire selon leur qualité<sup>1</sup>. La catégorisation de l'eau de baignade est basée sur l'ensemble des résultats d'analyse obtenus au cours de quatre années consécutives. En outre, la directive 2006/7/CE prévoit l'élaboration de profils d'eau de baignade comportant notamment un recensement et une évaluation des sources possibles de pollution des eaux de baignade susceptibles d'affecter la santé des baigneurs, l'emplacement des points de surveillance nécessaires, et précisant les actions envisagées pour prévenir l'exposition des baigneurs aux risques. Toutefois, la directive ne précise pas l'interprétation sanitaire à donner aux résultats analytiques d'un échantillon unique, prélevé en cours de saison balnéaire en cas de pollution à court terme, qui permettrait de définir les conditions d'ouverture et de fermeture au public des eaux de baignades et d'information du public.

\* \*  
\*

Aussi, dans un premier temps et dans le cadre de la transposition de la directive susmentionnée, il vous est demandé de nous indiquer, et de développer, les possibilités, en particulier sur le plan méthodologique, d'évaluer les risques susceptibles d'affecter les baigneurs sur la base des prélèvements réalisés conformément au programme de surveillance prévu par la nouvelle directive et le cas échéant en prenant en compte des prélèvements supplémentaires qui s'avèreraient nécessaires ou des informations contenues dans les profils d'eau de baignade. Nous vous demandons notamment d'analyser la faisabilité et la pertinence d'une évaluation des risques sanitaires basée sur un échantillon unique dont le prélèvement est prévu par la nouvelle directive. Par ailleurs, et sur la base de ce travail initial, nous vous demandons de faire des propositions de méthodologie pour fixer les valeurs seuils de qualité des eaux à appliquer pour gérer l'accès du public aux eaux de baignades, en lui délivrant une information adaptée.

Compte tenu du délai de deux ans prévu pour la transposition de la directive baignades, une réponse pour le mois de septembre 2007 nous est nécessaire.

\* \*  
\*

Par ailleurs, nous vous demandons de procéder à une évaluation des risques sanitaires liés aux baignades non couvertes par la nouvelle directive. Pour cela, il conviendra de réaliser un inventaire des types de baignades concernés et une identification des problématiques liées à chaque catégorie de baignades. Vous trouverez pour information en pièce jointe 2 des éléments de réflexion dans ce domaine issus d'un groupe de travail du ministère chargé de la santé.

Cette évaluation des risques devra prendre en compte notamment :

- le type d'eau utilisée (eau de mer, eau douce, eau du réseau public, ...) et ses caractéristiques,
- le traitement dont l'eau fait l'objet : filtration, aération, désinfection, ...,
- l'hydraulique et la conception de la zone de baignade,
- les dangers de nature microbiologique et physico-chimique liés à l'eau,
- les expositions selon les usages,
- la vulnérabilité des populations.

.../...

<sup>1</sup> Les États membres classent les eaux de baignades comme étant de qualité : insuffisante, suffisante, bonne ou excellente.

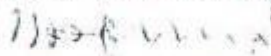
L'objectif est d'établir, en fonction des catégories pertinentes de baignades que vous identifierez :

- les valeurs limites de qualité des eaux,
- les modalités de surveillance et de contrôle (paramètres pertinents à contrôler, avec quelle fréquence et méthodes de prélèvements et d'analyses),
- les règles d'hygiène, de conception et de maintenance des installations éventuelles,
- les produits et procédés de traitement et les modalités d'utilisation, en prenant exclusivement en compte ceux inscrits au programme de travail communautaire du dispositif « biocides ».

Nous vous serons obligés de nous fournir une première note d'étape, intégrant notamment une étude bibliographique pour la fin de l'année 2007 et un rapport final comportant les éléments de réponse aux questions susmentionnées pour la fin du premier semestre 2008.

Le Directeur général de la santé

*Le Directeur général de la Santé,*



Pr Didier HOUSSIN

Le Directeur de l'eau



Le Directeur de la prévention des pollutions et des risques



Odile GAUMIER

Copie à Monsieur le Directeur Général de l'InVS

## Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

Cette partie présente une synthèse des liens déclarés par les experts, dans le domaine sur lequel se porte la saisine, et précise d'une part comment ces liens ont été analysés et d'autre part la manière dont ils ont été gérés, eu égard à un risque potentiel de conflit d'intérêts. Les déclarations publiques d'intérêts sont mises à jour par les experts à chaque changement de situation. Au cours des expertises, les liens d'intérêts sont réexaminés au vu de l'ordre du jour.

### RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

<b>IP-A</b>	Interventions ponctuelles : autres
<b>IP-AC</b>	Interventions ponctuelles : activités de conseil
<b>IP-CC</b>	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
<b>IP-RE</b>	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
<b>IP-SC</b>	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, <i>etc.</i>
<b>LD</b>	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
<b>PF</b>	Participation financière dans le capital d'une entreprise
<b>SR</b>	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
<b>SR-A</b>	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
<b>VB</b>	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

### SYNTHESE DES LIENS DES MEMBRES DU CES, MENTIONNES DANS LA DECLARATION PUBLIC D'INTERET, EN RAPPORT AVEC LA THEMATIQUE DE LA SAISINE

NOM	Prénom	Date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :	<i>Rubrique de la DPI</i>	
	Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	

Analyse Anses :	ANDRES Yves	09/09/2010 16/04/2011
	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

<b>BOUDENNE</b>	<b>Jean-Luc</b> <i>IP-RE</i> <i>IP-SC</i> Recherche sur la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau et de l'air des piscines d'eau de mer <b>Analyse Anses :</b> <i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	26/07/2010 07/02/2011 30/05/2011
<b>CABASSUD</b>	<b>Corinne</b> <b>Analyse Anses :</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	12/09/2010 26/05/2011
<b>CARRÉ</b>	<b>Jean</b> <b>Analyse Anses :</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	01/09/2009 12/08/2010 22/03/2011
<b>CHUBILLEAU</b>	<b>Catherine</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	24/09/2009 08/09/2010 08/02/2011 06/10/2011 19/01/2012
<b>CORREC</b>	<b>Olivier</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	25/05/2009 26/09/2010 03/05/2011
<b>DAGOT</b>	<b>Christophe</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	15/10/2008 12/04/2011
<b>DUBROU</b>	<b>Sylvie</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	23/02/2009 09/09/2010 20/04/2011
<b>HÉDUIT</b>	<b>Alain</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	20/08/2010 09/02/2011 13/10/2011
<b>HUMBERT</b>	<b>Jean-François</b> <b>Analyse Anses</b> <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	17/07/2010 03/05/2011 09/11/2011
<b>JOYEUX</b>	<b>Michel</b>	25/02/2009



<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	05/08/2010 23/04/2011
<b>LE BÂCLE</b>	<b>Colette</b>	23/09/2010 03/05/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LE CANN</b>	<b>Pierre</b>	28/02/2009 08/09/2010 15/03/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LÉVI</b>	<b>Yves</b>	08/02/2009 04/09/2010 13/03/2011 02/09/2011 07/02/2012
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>MATHIEU</b>	Laurence	26/08/2010 27/03/2011
<b>Analyse Anses</b>	<b>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</b>	
<b>MAZELLIER</b>	Patrick	20/03/2009 25/08/2010 27/01/2011
<b>Analyse Anses</b>	<b>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</b>	
<b>MUDRY</b>	Jacques	26/02/2009 15/09/2010 13/04/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>PONTIÉ</b>	Maxime	27/08/2010 23/02/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>POURCHER</b>	<b>Anne-Marie</b>	02/09/2010 09/02/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>TARDIF</b>	<b>Robert</b> <b>IP-SC</b>	21/09/2010 08/02/2011
<b>Analyse Anses</b>	Travaux de recherche sur les sous-produits de désinfection Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine	
<b>TREMBLAY</b>	<b>Michèle</b>	02/09/2010

<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	14/04/2011 03/05/2011
<b>WELTÉ</b>	<b>Bénédicte</b>	14/01/2099 23/08/2010 08/02/2011 20/03/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

**SYNTHESE DES LIENS DES MEMBRES DU GT, MENTIONNES DANS LA DECLARATION PUBLIC D'INTERET, EN RAPPORT AVEC LA THEMATIQUE DE LA SAISINE**

<b>NOM</b>	<b>Prénom</b> <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt	<b>Date de dernières mises à jour des déclarations des intérêts</b>
<b>Analyse Anses :</b>	<i>en cas de lien déclaré</i>	

<b>BOUDENNE</b>	<b>Jean-Luc</b> <i>IP-RE</i> <i>IP-SC</i> Recherche sur la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau et de l'air des piscines d'eau de mer	30/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
<b>CHAMBON</b>	<b>Paul</b>	25/04/2012
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>CORRON</b>	<b>Magali</b>	09/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

<b>DUBOURG</b>	<b>Karine</b>	07/03/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>ENKIRI</b>	<b>Françoise</b>	06/05/2011
<b>Analyse Anses :</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>FAVENNEC</b>	Loïc	03/04/2012
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LAVISON</b>	Gwenaëlle	24/04/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>LE GUENNIC</b>	Alcime	21/12/2009
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>OPPLIGER</b>	Anne	18/06/2012
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>VILLENA</b>	Isabelle	12/06/2012
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
<b>WELTÉ</b>	Bénédicte	20/03/2011
<b>Analyse Anses</b>	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

**SYNTHESE DES LIENS DES RELECTEURS, MENTIONNES DANS LA DECLARATION PUBLIC D'INTERET, EN RAPPORT AVEC LA THEMATIQUE DE LA SAISINE**

<b>NOM</b>  <b>Analyse Anses :</b>	<b>Prénom</b> <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	<b>Date de déclaration des intérêts</b>
<b>CABILLIC</b>  <b>Analyse Anses :</b>	<b>Pierre Jean</b> <i>IP-RE</i>  <i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	13/04/2012
<b>DUBROU</b>  <b>Analyse Anses</b>	<b>Sylvie</b>  <i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	23/02/2009 09/09/2010 20/04/2011
<b>GEHIN</b>  <b>Analyse Anses</b>	<b>Evelyne</b> <i>IP-SC</i> Travaux de recherche sur les aérosols <i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	24/11/2011

## Annexe 3: Actions à mettre en place pour l'exploitation des bains à remous



### Ministère de la Santé et des Sports

**Direction générale de la Santé**  
Sous-direction de la prévention des risques  
liés à l'environnement et à l'alimentation  
Bureau de la qualité des eaux  
DGS/EA4

personnes chargées du dossier :  
Mme Anne Pillebout  
mél : [anne.pillebout@sante.gouv.fr](mailto:anne.pillebout@sante.gouv.fr)  
tél : 0140565735  
M. Yannick Pavageau  
mél : [yannick.pavageau@sante.gouv.fr](mailto:yannick.pavageau@sante.gouv.fr)  
tél : 0140567443

Le Directeur général de la santé

à

Mesdames et messieurs les préfets de région  
Mesdames et messieurs les préfets de département  
(pour information)

Mesdames et messieurs les directeurs généraux des  
Agences régionales de santé  
(pour mise en œuvre)

CIRCULAIRE N°DGS/EA4/2010/289 du 27 juillet 2010 relative à la prévention des risques infectieux et notamment de la légionellose dans les bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public

Validée par le Comité national de pilotage des Agences régionales de santé le 21 juillet 2010  
N° de visa : CNP 2010-164

Date d'application : immédiate  
NOR : SASP1020206C  
Classement thématique : Santé environnementale

<p><b>Catégorie</b> : Directives adressées par le ministre aux services chargés de leur application, sous réserve, le cas échéant, de l'examen particulier des situations individuelles.</p>
<p><b>Résumé</b> : la présente circulaire mentionne les dispositions sanitaires relatives à l'exploitation des bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public dans le cadre de la prévention des risques infectieux et notamment de la légionellose et appelle l'attention des Agences régionales de santé sur les principaux points de contrôle des établissements comportant des spas.</p>
<p><b>Mots clés</b> : légionelles, spas, piscines, prévention, infections, légionellose.</p>
<p><b>Textes de référence</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ code de la santé publique, notamment les articles L. 1332-1 à L. 1332-9 et D. 1332-1 à D. 1332-13 ;</li> <li>▪ code du sport, notamment l'article A. 322-6 ;</li> <li>▪ code du travail, notamment les articles L. 4121-1 à L. 4121-5 ;</li> <li>▪ arrêté du 1<sup>er</sup> février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire ;</li> <li>▪ arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines ;</li> <li>▪ arrêté du 23 juin 1978 modifié par arrêté du 30 novembre 2005 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public.</li> </ul>
<p><b>Annexes</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• annexe 1 : guide relatif à la prévention des risques infectieux et notamment de la légionellose dans les bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public ;</li> <li>• annexe 2 : modalités de prélèvements et d'analyses d'eau à respecter par les ARS dans le cadre des inspections de bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public.</li> </ul>

## I. Contexte et champ d'application

La survenue de plusieurs cas groupés de légionellose signalés récemment en lien avec la fréquentation de bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public, la gravité de ces événements caractérisés par plusieurs décès et l'installation croissante de ces équipements dans les complexes aquatiques, les clubs de sport, les hôtels et les établissements de détente (sauna-hammams, etc.), conduisent à rappeler que l'exploitation des spas nécessite une attention quotidienne pour assurer la sécurité sanitaire des usagers.

Les spas constituent des installations à risque dont l'écologie bactérienne est fortement évolutive en fonction notamment de la qualité de la maintenance des installations, du renouvellement et de la désinfection de l'eau, mais aussi de la fréquentation, le brassage de l'eau favorisant la desquamation et la diffusion de matières organiques et de micro-organismes apportés par les utilisateurs de ces installations.

Pour prévenir les risques sanitaires liés à la prolifération des légionelles dans ces types d'équipements, vous trouverez en annexe 1 de la présente circulaire, un guide d'information à l'attention des exploitants établi par la Direction générale de la santé. Ce guide rappelle les risques sanitaires liés aux spas et fournit une synthèse des principales dispositions législatives et réglementaires qui s'y appliquent et des recommandations complémentaires, formulées dans l'attente d'une modification de la réglementation.

La présente circulaire se rapporte à l'ensemble des bains à remous à usage collectif et recevant du public, sans distinction relative à la capacité d'accueil ou à la température de l'eau.

La présente circulaire ne traite pas des bassins d'usage exclusivement médical (piscines thermales ou piscines des établissements de santé autorisés à dispenser des soins de suite et de réadaptation), ni des équipements situés dans des bassins de natation ou récréatifs (exemple des banquettes à bulles). Les spas à usage familial et les baignoires à remous destinées à un usage individuel n'entrent pas dans le champ d'application de la circulaire et ne sont pas non plus concernés par les présentes dispositions.

## II. Missions des Agences régionales de santé

Les Agences régionales de santé sont chargées, en application des dispositions de l'article D. 1332-12 du code de la santé publique, du contrôle sanitaire des piscines non réservées à l'usage personnel d'une famille et par conséquent des bains à remous à usage collectif et recevant du public. Ce contrôle sanitaire réglementaire comprend la réalisation au moins une fois par mois de prélèvements d'eau pour la recherche de certains germes témoins de contamination (bactéries aérobies, coliformes, etc.).

A ce titre, les missions des Agences régionales de santé consistent plus particulièrement à :

1. rappeler aux exploitants de spas les obligations réglementaires qui s'imposent à eux en leur transmettant la présente circulaire, et notamment le guide joint en annexe ;
2. renforcer le contrôle sanitaire des spas sur les points suivants :
  - recherche de *Pseudomonas aeruginosa*, bon indicateur de qualité bactériologique. Un faible dénombrement dans l'eau ne présente pas nécessairement un risque sanitaire pour la population générale, mais traduit un dysfonctionnement du système de traitement de l'eau. La recherche et le dénombrement sont réalisés selon la norme NF EN ISO 16266. Le résultat doit être inférieur à 1 UFC/100 mL ;
  - contrôle in-situ du respect des dispositions législatives et réglementaires, en priorité pour les spas dont l'ouverture au public a été portée récemment à votre connaissance : il importe de s'assurer de la bonne mise en œuvre des dispositions réglementaires qui sont parfois insuffisamment connues des nouveaux gestionnaires d'établissements ;

14 avenue Duquesne – 75350 Paris 07 SP – Téléphone : 01 40 56 60 00 – Télécopie : 01 40 56 50 56

3. procéder sans délai à l'inspection d'un établissement dès lors qu'un signalement de cas de légionellose vous a été notifié et est relié à la fréquentation d'un spa (baignade ou séjour à proximité immédiate). L'inspection portera notamment sur le contrôle du respect des dispositions législatives et réglementaires et sur l'évaluation de la mise en œuvre des recommandations formulées dans le guide joint en annexe 1. Les modalités de prélèvements et d'analyses d'eau à respecter lors de ces inspections sont rappelées en annexe 2. L'inspection devra faire l'objet d'un rapport du Directeur général de l'Agence régionale de santé adressé à l'établissement.
4. demander la vidange totale des installations du spa, leur nettoyage et leur désinfection (notamment le fond et les parois du bassin) ainsi que le lavage-décolmatage des filtres associé à une désinfection thermique ou chimique (chlore notamment), dès lors que les éléments portés à votre connaissance évoquent un risque sanitaire pour les usagers ;
5. si les conditions matérielles d'aménagement ou de fonctionnement portent atteinte à la santé ou à la sécurité des utilisateurs ainsi qu'à l'hygiène ou à la salubrité publique, ou si l'installation n'est pas conforme aux normes prévues ou n'a pas été mise en conformité avec celles-ci dans un délai déterminé, enjoindre au gestionnaire de fermer son établissement et si nécessaire, proposer aux préfets de département la fermeture administrative prévue à l'article L. 1332-4 et à l'article D.1332-13 du code de la santé publique. Cette fermeture pourra être proposée en cas de non-conformité récurrente observée dans le cadre du contrôle sanitaire réglementaire.

Je vous remercie de me faire part des difficultés rencontrées par vos services dans l'exercice de ces missions.

La directrice générale adjointe de la santé

*signé*

S. DELAPORTE

## ANNEXE 1

**GUIDE POUR LES EXPLOITANTS RELATIF A LA PREVENTION DES RISQUES INFECTIEUX  
ET NOTAMMENT DE LA LEGIONELLOSE  
DANS LES BAINS A REMOUS (SPAS) A USAGE COLLECTIF ET RECEVANT DU PUBLIC****1. Risques sanitaires****1.1. Généralités**

Les spas sont des piscines généralement de petit volume et de faible profondeur utilisées collectivement à des fins de relaxation. Conformément à la réglementation applicable aux piscines, l'eau y est traitée et recyclée à l'aide de dispositifs de filtration et désinfection, et renouvelée par des apports d'eau neuve. S'ils ne sont pas correctement conçus, exploités et surveillés, les spas offrent les conditions favorables à la prolifération de nombreux germes : *Escherichia coli* (germe témoin de contamination fécale) et autres coliformes, *Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*, staphylocoques pathogènes, amibes pathogènes, mycobactéries, etc.

Les pathologies liées aux spas sont nombreuses et on peut citer les infections cutanées (folliculite notamment chez les enfants et les jeunes adultes), les infections ORL (otite externe), les infections génito-urinaires, les infections respiratoires (légiellose), voire gastro-intestinales. Il convient de rappeler que les infections à légionelles se font par l'inhalation de microgouttelettes d'eau contaminée, aussi les risques sanitaires ne concernent pas seulement les utilisateurs des spas mais également les personnes qui séjournent à proximité.

**1.2. Risque infectieux lié aux légionelles**

De nombreux cas groupés d'infections à légionelles liés aux spas ont été recensés dans le monde au cours des trente dernières années. En outre, plusieurs épisodes concernaient des spas de démonstration dans des manifestations publiques : en Europe, les épisodes les plus importants ont été observés en 1999 en Belgique (près de 100 cas, 5 décès) et en 2000 aux Pays-Bas (près de 200 cas, 21 décès). Aux Etats-Unis, 35% des cas groupés de légionellose sont associés à des spas. Les cas groupés concernent aussi bien la forme pulmonaire d'infection à légionelles (légiellose), ou ses formes non pulmonaires (notamment les fièvres dites de Pontiac).

La fièvre de Pontiac, malgré un taux d'attaque élevé supérieur à 50%, ne fait pas l'objet de surveillance spécifique dans la mesure où l'impact sur la santé est limité et l'intérêt d'un diagnostic spécifique n'est pas démontré.

La légionellose constitue en revanche une forme sévère d'infection à légionelles et est à déclaration obligatoire auprès des autorités sanitaires depuis 1987 ; chaque cas notifié est considéré comme un signal d'alerte qui nécessite la mise en œuvre d'une enquête épidémiologique voire environnementale. Les premiers symptômes de la légionellose sont de type grippal avec des douleurs musculaires, de la fatigue, des maux de tête, une toux sèche et de la fièvre. Près de 1200 cas de légionellose ont été notifiés aux autorités sanitaires en 2009 et l'issue a été mortelle dans 11% des cas. Même si des groupes à risque sont clairement identifiés (les fumeurs, les immunodéficients, les diabétiques, les personnes âgées, etc.), chacun peut être concerné, notamment au regard des différences de virulence des souches et de la réaction propre à chaque individu.

Les cas de légionellose reliés à la fréquentation de spas sont donc des événements graves qui nécessitent systématiquement un contrôle des mesures de gestion mises en œuvre.

**1.3. Spécificité des spas**

L'écosystème des spas est nettement différent de celui des piscines récréatives. Les raisons de la prolifération bactérienne dans l'eau et notamment des légionelles sont bien identifiées :

- l'eau est fortement agitée voire « aérée » et maintenue à une température souvent comprise entre 30 et 40°C qui favorise la survie des bactéries et l'évaporation partielle du désinfectant de l'eau ;



- l'apport de matières organiques (sueur, peaux mortes, huiles, urine, etc.) lié à la fréquentation est parfois trop important au regard du volume d'eau disponible et des capacités de filtration et de désinfection des installations de traitement d'eau ; la concentration résiduelle en désinfectant peut chuter rapidement en cas d'affluence ;
- une partie des usagers ne prend pas une douche préalable à la baignade, parfois même après la pratique d'une activité sportive, d'où une hygiène insuffisante.

Les modes de contamination des individus par les légionelles sont aussi connus :

- les bulles d'air émises dans l'eau des spas éclatent à la surface de l'eau à proximité des individus et propagent dans l'atmosphère des gouttelettes d'eau de dimension de l'ordre du micromètre (1 à 5 micromètres) ;
- les microgouttelettes d'eau sont inhalées par les individus présents dans le spa ou à proximité et les bactéries présentes dans l'eau, notamment les légionelles le cas échéant, peuvent pénétrer les voies pulmonaires.

#### 1.4. Vigilance quant à la ventilation des locaux

La chloration de l'eau du spa peut conduire à la formation de chloramines et autres composés issus de la réaction du chlore avec la matière organique (« chlore combiné »), occasionnant des troubles irritatifs (toux, irritation des yeux, etc.). Aussi, il est important de veiller à la ventilation permanente des locaux. Le respect des règles simples d'hygiène par les baigneurs ainsi qu'une filtration efficace et des apports d'eau neuve suffisants contribuent également à limiter la formation de ces sous-produits indésirables.

## 2. Dispositions législatives et réglementaires

Les bains à remous (spas) à usage collectif et recevant du public sont soumis aux textes législatifs et réglementaires relatifs aux piscines non réservées à l'usage personnel d'une famille, et notamment aux articles L. 1332-1 à L. 1332-9 et D. 1332-1 à D. 1332-13 du code de la santé publique et à l'arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines.

### 2.1. Déclaration

L'exploitant doit déclarer l'installation du spa, avant son ouverture au public, à la mairie du lieu de son implantation (la mairie transmettant l'information au préfet) et s'engager sur la conformité de ses installations aux normes d'hygiène et de sécurité prévues par la réglementation (article L. 1332-1 du code de la santé publique). L'eau utilisée avant traitement doit être celle du réseau public de distribution d'eau potable (article D. 1332-4 du code de la santé publique). L'utilisation d'une autre eau est soumise à autorisation préfectorale, sur proposition du Directeur général de l'Agence régionale de santé après avis du Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques. L'eau doit être filtrée, désinfectée et désinfectante et doit faire l'objet d'une reprise en continu en surface pour au moins 50 % du débit de recyclage (articles D. 1332-4 et D. 1332-5 du code de la santé publique).

### 2.2. Surveillance par l'exploitant et contrôle sanitaire

L'exploitant est tenu de surveiller la qualité de l'eau du bassin (article L. 1332-8 du code de la santé publique et article 11 de l'arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines) en procédant notamment :

- au contrôle au moins deux fois par jour de la concentration en désinfectant de l'eau du bassin, du pH, de la transparence et de la température de l'eau. En outre, le taux de chlore stabilisé, le cas échéant, doit être supérieur à 2 mg/L. En l'absence de stabilisant, le taux de chlore libre actif doit être compris entre 0,4 et 1,4 mg/L.
- à la mise à jour quotidienne du carnet sanitaire avec mention des résultats de ces contrôles, du nombre de baigneurs, des apports d'eau neuve effectués et visa du responsable des installations.

L'exploitant veille à la mise en œuvre rigoureuse de cette auto-surveillance mais se doit également de conserver une forte vigilance vis-à-vis de la bonne gestion des équipements, même si les résultats d'analyses sont satisfaisants.

L'exploitant est tenu de se soumettre au contrôle sanitaire et de respecter les règles et limites de qualité réglementaires (articles L. 1332-8 et D. 1332-12 du code de la santé publique).

### 2.3. Information du public

L'exploitant est tenu d'informer le public sur les résultats de la surveillance qu'il met en œuvre (article L. 1332-8 du code de la santé publique). Il procède à l'information adéquate des utilisateurs par un affichage visible à proximité des installations. Cet affichage devra comprendre au minimum les éléments prévus par la réglementation :

- la fréquentation maximale instantanée autorisée dans l'établissement (article D. 1332-9 du code de la santé publique) ;
- les derniers résultats du contrôle sanitaire mensuel de l'Agence régionale de santé (article D. 1332-12 du code de la santé publique) ;
- le règlement intérieur relatif au spa (article A. 322-6 du code du sport). A ce titre, l'exploitant procède à l'information complémentaire des usagers sur les éléments suivants :
  - les bonnes pratiques d'hygiène, et notamment la douche, obligatoire avant l'accès au spa et recommandée après ;
  - l'obligation de passage dans le pédiluve lorsqu'un tel équipement est installé, celui-ci étant fortement recommandé, alimenté en eau désinfectante et conçu de telle sorte qu'il soit incontournable ;
  - le conseil de limiter la baignade à 15 minutes et de différer celle-ci en cas de forte affluence.

### 2.4. Produits et procédés de traitement

L'exploitant doit n'employer que des produits et procédés de traitement de l'eau, de nettoyage et de désinfection efficaces et qui ne constituent pas un danger pour la santé (article L. 1332-8 du code de la santé publique). En outre, les produits et procédés utilisés pour la désinfection et la déchloration de l'eau des piscines sont autorisés par le ministère chargé de la santé, après avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). Les produits ou procédés de traitement qui peuvent être employés figurent à l'article 5 de l'arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines. Par ailleurs, l'injection des produits chimiques ne doit pas se faire directement dans les bassins (article 6 de l'arrêté du 7 avril 1981 modifié fixant les dispositions techniques applicables aux piscines).

### 2.5. Equipements sanitaires

L'établissement doit comporter des installations sanitaires (douches, toilettes, lavabos, etc.) en nombre suffisant par rapport à la fréquentation (annexe 13-6 du code de la santé publique).

### 2.6. Protection du personnel

Sans préjudice des dispositions prévues notamment aux articles L. 4121-1 à L. 4121-5 du code du travail, l'exploitant assure une information et une formation adaptée de son personnel sur les mesures à suivre pour la prévention des risques professionnels. En outre, les personnels doivent être équipés des équipements appropriés lorsqu'ils effectuent les opérations de nettoyage et désinfection du bassin.

### 3. Recommandations concernant l'exploitation

#### 3.1. Filtration et désinfection de l'eau

L'exploitant veille à la bonne conception et au fonctionnement des installations de traitement de l'eau, celles-ci devant comprendre :

- une recirculation totale de l'eau au moins 2 fois par heure, avec au mieux un temps de recirculation de l'ordre de quelques minutes ;
- l'injection de désinfectant en continu après la filtration ; si le chlore est stabilisé, il est recommandé que le taux de chlore disponible reste inférieur à 5 mg/L. La désinfection est faite lorsque le bassin est en eau, même s'il n'est pas utilisé.

Il est fortement recommandé de faciliter le contrôle de l'effectivité de la désinfection par un suivi automatique en temps réel de la concentration résiduelle en désinfectant dans l'eau. La surveillance des paramètres physico-chimiques est primordiale.

#### 3.2. Vidange périodique

L'exploitant procède à la vidange totale du spa au moins 1 fois par semaine. Il devrait être vidangé plusieurs fois par semaine en cas d'utilisation importante (clubs de sport notamment), voire quotidiennement en cas d'affluence importante (établissements de tourisme qui connaissent des pics horaires de fréquentation).

L'exploitant procède également sans délai à la vidange totale du spa en cas de situation dégradée. La situation est dégradée lorsque survient au moins un des événements suivants :

- transparence de l'eau insuffisante ;
- présence de selles dans l'eau ;
- problèmes techniques dans la filtration et la circulation de l'eau ;
- température de l'eau trop élevée (celle-ci doit être inférieure à 39°C, une température plus élevée pouvant présenter un risque pour les femmes enceintes et les personnes qui ont des problèmes cardio-vasculaires) ;
- absence de désinfectant résiduel dans l'eau ;
- confirmation par le laboratoire de présence d'agents pathogènes dans l'eau, notamment les *Legionella* et *Pseudomonas aeruginosa* ;
- tout autre événement occasionnant un risque pour la santé ou la sécurité.

L'exploitant procède, après la vidange totale, au nettoyage, à la désinfection et au rinçage du fond et des parois du bassin et des goulottes, ainsi qu'au lavage et au décolmatage des filtres et à leur désinfection. L'exploitant doit porter une grande attention à la maintenance et au remplacement des filtres, ceux-ci étant souvent des niches pour les bactéries (*Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*) susceptibles de contaminer les équipements en cas d'insuffisance de la désinfection, soit liée à un problème technique, soit liée à une trop grande fréquentation.

#### 3.3. Surveillance, maintenance et entretien

Les actions récapitulées dans le tableau 1 s'exercent en complément de celles recommandées par les constructeurs et les installateurs.

Tableau 1

nature de l'action	fréquence	
	réglementaire (article 11 de l'arrêté du 07/04/81 modifié)	recommandée au titre de la prévention sanitaire
mesure de la température de l'eau	2 fois par jour	plusieurs fois par jour, notamment avant l'accès au public et pendant les périodes de fréquentation importante, en l'occurrence toutes les 2 heures
mesure de la concentration résiduelle en désinfectant dans l'eau	2 fois par jour	
mesure de la transparence de l'eau	2 fois par jour	
mesure du degré d'acidité de l'eau (pH)	2 fois par jour	
mise à jour du carnet sanitaire avec les résultats de ces mesures, le nombre de baigneurs dans la journée et les apports d'eau neuve	1 fois par jour	
visa du carnet sanitaire par l'exploitant	1 fois par jour	
fréquentation maximale instantanée (FMI)		en continu. Il est recommandé de fixer une FMI spécifique au spa quand l'établissement comprend d'autres bassins
vérification des systèmes d'injection automatique des produits chimiques		plusieurs fois par jour, notamment avant l'accès au public
vérification des niveaux de produits chimiques dans les bacs d'injection		1 fois par jour
nettoyage et désinfection des surfaces accédant au spa		1 à plusieurs fois par jour en fonction de la fréquentation du spa, notamment après la fermeture de l'accès au public
entretien des filtres (lavage à contre-courant des filtres à sable, nettoyage des filtres à cartouche)		selon les recommandations de l'installateur et en l'absence d'accès du spa au public
contrôle des pré-filtres		1 fois par jour, en l'absence d'accès du spa au public
désinfection choc (surchloration notamment) de l'ensemble de l'équipement, le bassin n'étant pas accessible au public		1 fois par semaine
vidange(*) totale du spa suivie notamment par : nettoyage, désinfection, et rinçage du fond et des parois du bassin et des goulottes, ainsi que la tuyauterie et les pré-filtres		a) 1 fois par semaine lorsque l'utilisation est modérée ; b) plusieurs fois par semaine voire 1 fois par jour en cas d'utilisation importante ; c) systématiquement dès lors que la situation est dégradée
(*) la surchloration du spa avant la vidange et la neutralisation des eaux de vidange avant rejet à l'égout sont recommandées (il convient de s'adresser au service d'assainissement pour connaître les types d'eaux pouvant être déversées dans les réseaux d'eaux d'eaux usées voire pluviales)		
lavage, décolmatage et désinfection des filtres		1 fois par mois et systématiquement dès lors que la situation est dégradée
information et formation du personnel		1 fois par an et à chaque renouvellement du personnel
évaluation globale de la mise en œuvre des obligations réglementaires et des présentes recommandations		1 fois par an

14 avenue Duquesne – 75350 Paris 07 SP – Téléphone : 01 40 56 60 00 – Télécopie : 01 40 56 50 56

## ANNEXE 2

**MODALITES DE PRELEVEMENTS ET D'ANALYSES D'EAU A RESPECTER PAR LES AGENCES REGIONALES DE SANTE DANS LE CADRE DES INSPECTIONS DE BAINS A REMOUS (SPAS) A USAGE COLLECTIF ET RECEVANT DU PUBLIC**

Lors des inspections de spas, les Agences régionales de santé procèdent à :

- des prélèvements destinés à la recherche et au dénombrement des *Legionella species* et *Legionella pneumophila* selon la norme NF T90-431. Les prélèvements sont réalisés notamment au niveau du spa (prélèvement d'eau et éventuellement prélèvements par écouvillonnage) et en d'autres points d'usage à risque représentatifs de l'exposition potentielle aux légionelles dans l'établissement (notamment les douches et bains à remous ou à jets à usage individuel) ;
- des mesures de la température de l'eau chaude sanitaire au niveau des autres points d'usage à risque (douches, etc.) et l'évaluation de leur conformité au regard des dispositions de l'arrêté du 30 novembre 2005 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public.

Au niveau du spa, conformément à l'article D. 1332-2 du code de la santé publique, l'eau ne doit pas contenir de germes pathogènes : les *Legionella pneumophila* ne doivent pas être détectées. En cas de légionellose, compte tenu des délais liés à l'incubation, à la survenue de la maladie, au diagnostic et à la notification à l'Agence régionale de santé, le résultat ne constituera qu'un indicateur qui ne permettra pas nécessairement d'évaluer l'absence de la bactérie au moment de l'exposition passée.

Au niveau des autres points d'usage à risque représentatifs (douches, etc.), les résultats doivent être inférieurs à l'objectif cible mentionné dans l'arrêté du 1<sup>er</sup> février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire.

En application de l'article L. 1332-9 du code de la santé publique et de l'arrêté sus-mentionné, les coûts des prélèvements d'eau et analyses de légionelles sont à la charge de l'établissement.

## Annexe 4 : Classement des eaux minérales naturelles

### Les eaux sulfurées

Ce sont des eaux riches en sulfures. La présence d'espèces réduites du soufre confère à ces eaux un potentiel redox souvent fortement négatif qui favorise les réactions d'oxydo-réduction rendant ces eaux très instables.

Les eaux sulfurées sont classées en deux catégories :

#### 1- les eaux sulfurées sodiques, de type « pyrénéen »

Il s'agit d'eaux riches en sulfures dont le cation dominant est le sodium. Elles sont faiblement minéralisées (minéralisation inférieure à 400 mg/L), chaudes à très chaude ( $30^{\circ} C \leq T \leq 65^{\circ} C$ ), à pH alcalin ( $8 \leq pH \leq 10$ ) et contenant de la silice soluble et du fluor en quantités souvent importantes ;

#### 2- les eaux sulfurées calciques

Il s'agit d'eaux riches en sulfures dont le cation dominant est le calcium. Elles présentent des températures et des minéralisations très diverses et ont comme particularité commune de présenter un pH compris entre 7 et 8 favorable à la libération d'hydrogène sulfuré  $H_2S$ .

### Les eaux sulfatées

Elles contiennent majoritairement des ions sulfate  $SO_4^{2-}$  associés aux ions calcium et magnésium. Leur minéralisation résulte d'un lessivage du gypse ou de l'anhydrite qui peuvent se trouver dans les formations évaporitiques avec lesquelles elles ont été en contact.

Selon la nature et l'abondance relative des cations associés, les eaux seront dites **sulfatées calciques** lorsque la concentration en calcium est dominante ou sulfatées mixtes lorsque leur minéralisation résulte d'un apport simultané de sulfates, de sodium et de calcium.

Généralement, sont également présents les ions magnésium et strontium, la concentration de ce dernier pouvant atteindre 10 à 15 mg/L.

### Les eaux chlorurées sodiques

Dans ces eaux, les ions majoritaires sont les ions chlorure et sodium.

Les eaux minérales naturelles chlorurées sodiques sont classées en deux catégories :

#### - les eaux sodiques « fortes » et froides

Elles proviennent de la dissolution du sel gemme (halite) et présentent des minéralisations pouvant atteindre le seuil de saturation (300 g/L). Ces eaux sont très corrosives vis-à-vis des matériaux métalliques.

#### - les eaux sodiques « faibles » et chaudes

Leur minéralisation totale n'est que de quelques grammes par litre et elles sont très corrosives vis-à-vis des matériaux métalliques.

Le pH de ces eaux, dont l'ion majoritaire est le sodium, est toujours acide. Dans certains cas, l'ion sodium peut être associé à l'ion calcium mais en quantité plus faible.

### *Les eaux faiblement minéralisées*

*Le résidu sec de ces eaux est inférieur à 500 mg/L et elles ne contiennent pas d'élément à des quantités suffisamment élevées pour pouvoir les classer dans une des familles précédentes. Elles sont le plus souvent faiblement ou très faiblement minéralisées (quelques dizaines de milligrammes de résidu sec par litre).*

*C'est dans cette catégorie que se rangent les eaux dites « **oligominérales** » qui contiennent à l'état de traces (de l'ordre du microgramme par litre) des éléments comme le cuivre, l'arsenic, le sélénium, le zinc, le lithium, le bore, l'aluminium, l'uranium, le radium, le béryllium ou encore le vanadium.*

### *Les eaux ferrugineuses*

*Elles contiennent du fer sous la forme soluble  $Fe^{2+}$  à des teneurs variant de 0,5 et 20 mg/L. Cet élément se rencontre principalement dans les eaux souterraines pauvres en oxygène et se trouve souvent associé, en faible quantité, à du manganèse soluble sous la forme  $Mn^{2+}$ . Ces éléments peuvent précipiter directement sous forme de carbonates. Sous l'action de l'oxygène provenant d'une aération de l'eau au cours de son transport ou pendant son stockage, le fer ferreux peut s'oxyder en fer ferrique et précipiter sous forme d'hydroxyde ferrique qui peut catalyser l'oxydation du manganèse sous forme de dioxyde de manganèse.*

*Il ne s'agit pas à proprement parler d'une catégorie particulière puisque le fer soluble n'est jamais l'élément prépondérant et qu'il peut se retrouver dans des eaux d'autres catégories.*

### *Les eaux « bicarbonatées » gazeuses*

*Lorsque les eaux minérales présentent des concentrations particulièrement élevées en ions hydrogénocarbonate (plus de 600 mg/L en  $HCO_3^-$ ) et qu'elles contiennent du dioxyde de carbone libre en excès (plus de 250 mg/L), elles sont dénommées « eaux bicarbonatées gazeuses ». Ces eaux peuvent être « bicarbonatées » sodiques, calciques, ou mixtes. Les eaux bicarbonatées sodiques contiennent souvent du fluor, de la silice et de l'arsenic en quantités non négligeables. » (Afssa, 2008).*

## Annexe 5 : Références des normes de qualité pour les produits de traitements des eaux utilisés en piscines collectives

Tableau XIX: Références des normes de qualité pour les produits de traitements des eaux utilisés en piscines collectives

Produit	Référence norme afnor eau piscine	Référence norme eau destinée à la consommation humaine	Spécificité eau piscine
coagulants à base d'aluminium	NF EN 15031	EN 878 / EN 881 / EN 882 / EN 883 / EN 885	
Acide trichloroisocyanurique	NF EN 15032	NF EN 12933	
Dichloroisocyanurate de sodium anhydre	NF EN 15072	NF EN 12931	Fraction massique mini 60 % en chlore. Teneur en eau du produit anhydre doit être inférieure à 2 % du produit
Dichloroisocyanurate de sodium dihydraté	NF EN 15073	NF EN 12932	
Ozone	NF EN 15074	NF EN 1278	
Hydrogénocarbonate de sodium	NF EN 15075	EN 898	Fraction massique mini 98 % NaHCO <sub>3</sub>
Medias filtrants	NF EN 15798	NF EN 12901 EN 12915-1 (charbon actif en grains), EN12904 (sable), EN12906 (pierre ponce)	Indice iode mini 600 mg/g pour CAG
Charbon actif en poudre	NF EN 15799	EN 12903	Indice iode pas inférieur à 600 mg/g
Hydroxyde de sodium	NF EN 15076	NF EN 896	
Hypochlorite de sodium	NF EN 15077	EN 901	
Acide sulfurique	NF EN 15078	EN 899	
Carbonate de sodium	NF EN 15362	EN 897	Composition fraction massique mini 99 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Chlore	NF EN 15363	EN 937	
Acide chlorhydrique	NF EN 15514	EN 939	
Hypochlorite de	NF EN 15796	EN 900	Concentration mini



Produit	Référence norme afnor eau piscine	Référence norme eau destinée à la consommation humaine	Spécificité eau piscine
calcium			65,5 % (fraction massique) d'hypochlorite de calcium. Le chlore libre obtenu après 1 mn dissolution ne doit pas être inférieur à 45,5 % de la fraction massique
coagulants à base de fer	NF EN 15797	EN 888 (chlorure de fer), EN890 (sulfate de fer, EN 891(Chlorosulfate de fer)	Concentration ne doit pas varier de $\pm 3$ % par rapport à la valeur du fabricant
hydrogénosulfate de sodium	PR NF EN 16038	NF EN 12120	

## Annexe 6 : Concentration en métaux lourds autorisées dans les produits de traitements de l'eau destinée à la consommation humaine

**Tableau XX : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les produits de traitement de l'eau destinée à la consommation humaine**

Unité	Acide sulfurique	Acide chlorhydrique	Charbon Actif en Grains  µg.L <sup>-1</sup> (substances extractibles)	Dichloroisocyanurate de sodium anhydre et dihydraté/acide trichloroisocyanurique		Chlorure sodium utilisé pour génération chlore	
	Mg.kg <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	mg.kg <sup>-1</sup> fraction massique Hcl 100 %		mg.kg <sup>-1</sup> produit Type 1	mg.kg <sup>-1</sup> produit Type 2	mg.kg <sup>-1</sup> produit commercial Qualité A	mg.kg <sup>-1</sup> produit commercial Qualité B
Fe	100	17					
As	0,4		10	10	10	0,3	1,5
Cd	0,1		0,5	1	1	0,75	1,5
Cr	4		5	6	10	0,75	1,5
Hg	0,1		0,3	0,02	0,02	1,05	1,5
Ni	4		15	3	5	0,75	3
Pb	4		5	4	15	3,5	4,5
Sb	1		3	5	5	6	7,5
Se	1		3	1	1	6	7,5
CN			5				
HAP			0,02				
Br <sup>-</sup>						250	500

**Tableau XXI : Concentrations maximales en métaux lourds et bromates autorisées dans les produits de traitement de l'EDCH à base de chlore**

	Hypochlorite de calcium		Carbonate de calcium  Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Chlore		Hydrogène carbonate de sodium  mg.kg <sup>-1</sup> Na HCO <sub>3</sub>	Hypochlorite de sodium mg.kg <sup>-1</sup> de chlore actif	
	mg.kg <sup>-1</sup> de chlore disponible			mg.kg <sup>-1</sup> produit			mg.kg <sup>-1</sup> de chlore actif	
	Type 1	Type 2	Type 1		Type 2	Type 1		Type 2
As	5	10	2			2	1	5
Cd	5	10	2			2	2,5	5
Cr	15	15	2			2	2,5	5
Hg	5	7	0,1	0,1	1	0,1	3,5	5
Ni	8	10	2			2	2,5	10
Pb	15	15	2			2	15	15
Sb	15	15					20	25
Se	20	20					20	25
Fe								
Bromates	2,1	4,2					2500	5000
Chlorates							5.4 %	5.4 %

**Tableau XXII : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées  
dans les coagulants à base de fer**

	Sulfate de fer			Chlorure de fer		
	Fraction massique par rapport à teneur en fer (III)			Limite mg.kg <sup>-1</sup> (Fe III)		
	Qualité 1	Qualité 2	Qualité 3	Type 1	Type 2	Type 3
Mn	0,5	1	2	0,5	1	2
Fe	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
As	1	20	50	20	20	50
Cd	1	25	50	1	25	50
Cr	100	350	500	50	350	500
Hg	0,1	5	10	0,3	5	10
M	300	350	500	60	350	500
Pb	10	100	400	35	100	400
Sb	10	20	60	10	20	60
Se	1	20	60	10	20	60

**Tableau XXIII : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les coagulants à base d'aluminium**

	Sulfate d'aluminium/aluminate de sodium/chlorure d'aluminium et hydroxy chlorure d'aluminium/polyhydroxychlorure silicate d'aluminium		
	mg.kg <sup>-1</sup> (A)		
	Type 1	Type 2	Type 3
As	14	40	100
Cd	3	50	100
Cr	30	700	1 000
Hg	4	10	20
Ni	20	700	1 000
Pb	40	200	800
Sb	20	40	120
Se	20	40	120

**Tableau XXIV : Concentrations maximales en métaux lourds autorisées dans les produits de neutralisation**

	Hydroxyde de sodium		Hydrogénosulfite de sodium
	Limite NOOH mg.kg <sup>-1</sup>		
	Type 1	Type 2	Limite produit commercial 40 % (m/m en Na HSO <sub>3</sub> )
As	2	10	1
Cd	1	5	1
Cr	1	10	1
Hg	0,1	1	1
Ni	2	10	1
Pb	5	20	5
Sb	5	5	1
Se	5	5	1

## Annexe 7 : Propriétés physico-chimiques des principaux sous-produits de désinfection

Tableau XXV : Propriétés physico-chimiques des principaux sous-produits de désinfection

Substance	Formule moléculaire	N°CAS	Constante de dissociation dans l'eau (pKa)	Coefficient de partage octanol/eau logKow	Solubilité dans l'eau à 25°C (g.L <sup>-1</sup> )	Tension de vapeur à 25°C (mm de Hg)	Constante de Henry à 24°C (atm.m <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Chloroforme	CHCl <sub>3</sub>	67-66-3	24,4 <sup>2</sup>	1,97	7,95	197	3,67 10 <sup>-3</sup>
Chlorodibromomethane	CHClBr <sub>2</sub>	124-48-1	12,3 <sup>2</sup>	2,16	2,70	5,54	7,83 10 <sup>-4</sup>
Bromodichloromethane	CHBrCl <sub>2</sub>	75-27-4	12,9 <sup>2</sup>	2,00	3,03	65,3 <sup>4</sup>	2,12 10 <sup>-3</sup>
Bromoforme	CHBr <sub>3</sub>	75-25-2	22,7 <sup>3</sup>	2,40	3,10	5,17 <sup>5</sup>	5,35 10 <sup>-4</sup>
Acide chloroacétique	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub>	79-11-8	2,86	0,22	858	0,065	9,42 10 <sup>-9</sup>
Acide dichloroacétique	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	79-43-6	1,26	0,92	1000	0,179	3,52 10 <sup>-7</sup>
Acide trichloroacétique	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	76-03-9	0,512	1,33	44,0	0,17 <sup>6</sup>	1,35 10 <sup>-8</sup>
Acide bromoacétique	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> BrO <sub>2</sub>	79-08-3	2,89	0,41	93,8	0,119	6,31 10 <sup>-8</sup>
Acide dibromoacétique	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Br <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	631-64-1	nd	0,70	nd	0,0144 <sup>7</sup>	nd
Hydrate de chloral	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	75-87-6	9,66	0,99	30,0	50	2,91 10 <sup>-9</sup>
Dichloroacétonitrile	C <sub>2</sub> HCl <sub>2</sub> N	3018-12-0	nd	0,29	33,5	2,82	3,79 10 <sup>-6</sup>
Dibromoacétonitrile	C <sub>2</sub> HBr <sub>2</sub> N	3252-43-5	nd	0,47	9600	0,301	4,06 10 <sup>-7</sup>
Trichloroacétonitrile	Cl <sub>3</sub> CCN	545-06-2	nd	2,09	715	74,1	1,34 10 <sup>-6</sup>
Bromate de sodium	NaBrO <sub>3</sub>	7789-38-0	nd	4,41	364 à 20°C	nd	nd
Bromate de potassium	KBrO <sub>3</sub>	7758-01-2	nd	nd	133 à 40°C	nd	nd
N-nitrosodiméthylamine <sup>1</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O	62-75-9	nd	0,57	290 à 20°C	nd	3,38 10 <sup>-5</sup>

Nd : non déterminé

Références : (Toxnet, 2010) ; <sup>1</sup>(Sax et Lewis, 1987) ; <sup>2</sup>(Scharlin, 1987) ; <sup>3</sup>(Bégué et Bonnet-Delpon, 2005) ; <sup>4</sup>(ChemSpider, 2010a) ; <sup>5</sup>(NIOSH, 2005) ; <sup>6</sup>(ChemSpider, 2010c) ; <sup>7</sup>(ChemSpider, 2010b).

## Annexe 8: Exploitation de la base sise eaux

Des informations relatives à la qualité de l'eau des bains à remous ont pu être extraites de la base Sise eaux du ministère de la santé. Cette base, généralement utilisée pour suivre la qualité des eaux destinées à la consommation humaine rassemble également les données du contrôle sanitaire des eaux de piscine.

L'analyse a été réalisée sur la base des résultats recueillis durant l'année 2009. Les données renseignées dans cette base ne sont pas représentative de la situation en France puisque la base n'est complétée régulièrement que par la moitié des ARS.

Afin de sélectionner uniquement les bassins représentatifs des bains à remous, les mots clés suivants ont été utilisés pour filtrer la base :

B REMISE FORME, BAIN A BULLES, BAIN A REMOUS, BAIN BOUILLONANT, BAIN BOUILLONNANT, BAIN BOUILLONNANT, BAIN CALIFORNIEN, BAINS A BULLES, BASSIN A REMOUS, BASSIN BALNEO, BASSIN BOUILLON, BASSIN REMISE EN FORME, BASSIN BALNEO, JAC , JACCUZI, JACCUZZI, JACOUZZI, JACUZZI, JUCCUZZI, JACUZI, JACOUSI, JACOUZI, JUCUZZI, SPA, S P A, SPA2.

L'extraction des résultats a été demandée pour les paramètres suivants :

- ▶ Staphylocoques pathogènes
- ▶ Bactéries aérobies revivifiables
- ▶ Bactéries coliformes
- ▶ *Escherichia coli*
- ▶ Chlore combiné
- ▶ pH
- ▶ température
- ▶ Oxydabilité au KMnO4 en milieu acide à chaud
- ▶ Acide isocyanurique
- ▶ Chlore libre chlore libre actif

L'ensemble de ces paramètres a été recherché parmi les 1446 prélèvements figurant dans la base filtrée. Les prélèvements ont été effectués dans 341 établissements répartis dans 39 départements métropolitains et d'outre-mer.

Des données complémentaires nécessaires à l'analyse de la base ont été demandées aux ARS. Le questionnaire concernait le type d'eau d'alimentation du bassin (EDCH, eau de mer, EMN, eau de source ou de forage, autre), la situation géographique du bassin (intérieure ou extérieure), l'ouverture du bassin (annuelle ou saisonnière), la température cible du bassin et la connexion ou non du circuit hydraulique du bain à remous avec un autre bassin.

29 ARS sur les 39 interrogés ont répondu au questionnaire ce qui correspond à 236 établissements.

### Résultats du questionnaire

93 % des bassins sont alimentés par de l'EDCH, 4 % par de l'EMN, 1,7 % par de l'eau de forage, 0,4 % par de l'eau de mer et 0,1 % par de l'eau de surface.

Pratiquement 89 % des bassins sont intérieurs et 85 % d'ouverture annuelle. 80 % des bassins n'ont pas leur circuit hydraulique raccordé à un autre bassin.

### Résultats de l'analyse de la base :

Afin que l'analyse soit la plus représentative de l'activité « bain à remous » en France, l'analyse a été réalisée sur les prélèvements réalisés entre 10 et 20h.

### Staphylocoques pathogènes :

Tableau XXVI : Pourcentage de conformité en staphylocoques pathogènes dans l'eau des bains à remous

Type d'eau	Pourcentage de conformité
EDCH	94,5 %
EMN	83 %
Forage	100 %

### Bactéries aérobies revivifiables :

Tableau XXVII : Pourcentage de conformité en bactérie aérobies revivifiables à 36°C dans l'eau des bains à remous

Type d'eau	Pourcentage de conformité
EDCH	88,6 %
EMN	96,7 %
Forage	82,6 %

### Bactéries coliformes :

95,9 % des analyses de coliformes réalisées dans des bassins alimentés par de l'EDCH se révèlent être conforme à la réglementation en vigueur et 100 % des prélèvements réalisés dans les bassins alimentés par de l'eau de forage. Aucune analyse n'a été réalisée pour les piscines alimentées par de l'eau minérale naturelle.

### Escherichia coli :

Bien qu'*Escherichia coli* ne soit pas un paramètre du contrôle sanitaire des eaux de piscines, des résultats d'analyses sont disponibles dans la base Sise eaux et ont pu être analysés.

99 % des prélèvements réalisés dans l'EDCH sont conformes au seuil proposé par l'Anses dans le rapport « Piscines » (Afsset, 2010a). 100 % des prélèvements réalisés dans l'EMN sont conformes et 95 % des prélèvements réalisés dans les bassins alimentés par de l'eau de forage.



**Chlore combiné****Tableau XXVIII : Pourcentage de conformité et concentration en chlore combiné dans l'eau des bains à remous**

Type d'eau	Pourcentage de conformité	Médiane pour les prélèvements conformes (mg.L <sup>-1</sup> )	Médiane pour les prélèvements non conformes (mg.L <sup>-1</sup> )
EDCH	70 %	0,3	0,9
EMN	93 %	0,45	0,71
Forage	72 %	0,14	0,82

**Chlore libre****Tableau XXIX : Pourcentage de conformité et concentration en chlore libre dans l'eau des bains à remous**

Type d'eau	Pourcentage de conformité	Médiane pour les prélèvements conformes (mg.L <sup>-1</sup> )	Médiane pour les prélèvements non conformes (mg.L <sup>-1</sup> )
EDCH	28 %	1,1	-
EMN	20 %	1,3	2,0
Forage	0 %	-	2,67

**Chlore libre actif****Tableau XXX : Pourcentage de conformité et concentration en chlore actif dans l'eau des bains à remous**

Type d'eau	Pourcentage de conformité	Médiane pour les prélèvements conformes (mg.L <sup>-1</sup> )	Médiane pour les prélèvements non conformes (mg.L <sup>-1</sup> )
EDCH	28 %	0,87	-
EMN	100 %	0,91	-
Forage	44 %	0,89	1,88

### **Acide isocyanurique**

**Tableau XXXI : Pourcentage de conformité et concentration en acide isocyanurique dans l'eau des bains à remous**

Type d'eau	Pourcentage de conformité	Médiane pour les prélèvements conformes (mg.L <sup>-1</sup> )	Médiane pour les prélèvements non conformes (mg.L <sup>-1</sup> )
EDCH	89 %	13	110
EMN	100 %	24	-
Forage	100 %	33	-

### **Température de l'eau**

La température moyenne de l'eau est de 33°C pour les différents types d'eau (EDCH 33,18°C, EMN 33,54°C, eau de forage 32,18°C)

La température est inférieure à 25°C dans 2,6 % des prélèvements. Elle est comprise entre 25 et 33°C dans 35 % des prélèvements. 63 % des prélèvements montrent une température de l'eau comprise entre 33 et 46°C.

### **Oxydabilité au KMnO<sub>4</sub>**

Le paramètre Oxydabilité au KMnO<sub>4</sub> qui permet de suivre la concentration en matière organique dans l'eau est conforme dans 100 % des prélèvements effectués dans l'eau thermique et l'eau de forage et dans 83 % des cas dans l'EDCH.

### **pH**

Le suivi du pH montre que ce paramètre est conforme dans 92 % des cas pour l'EDCH.

## Annexe 9 : Suivi des actualisations du rapport

Date	Version	Page	Description de la modification
09/12/13	02	4	Ajout des membres de la fédération des professionnels de la piscine dans les personnalités auditionnées
07/03/14	02	41	Modification de la figure 5 : « Exemple de circuit hydraulique d'un bain à remous à traitement simple » par l'ajout des termes « clapets anti-retours ».
07/03/14	02	42	Modification de la figure 6: « Exemple de circuit hydraulique d'un bain à remous équipé d'un bac tampon » par l'ajout des termes « clapets anti-retours ».
07/03/14	02	105	Au § 4.5.2 Dangers liés aux matériaux, le terme « liner » est supprimé et remplacé par les termes « membrane armée ».







Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
27-31 avenue du général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)