

# Etude de l'évolution du chloroforme et des chloramines dans l'air intérieur de la piscine de Breteuil suite à différents réglages du système de déchloramination

2017

---

**Référence : Rapport n°1720.007**

Diffusion : Février 2018

---

**Atmo Normandie**

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

contact@atmonormandie.fr



## Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet ([www.atmonormandie.fr](http://www.atmonormandie.fr)), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faite sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n°1720-007

Le 4 avril 2018

Le rédacteur,

Marta Dominik-Sègue

Le responsable de pôle Campagnes de mesure et exploitation des données,

Sébastien Le Meur

Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN

Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : [contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)

[www.atmonormandie.fr](http://www.atmonormandie.fr)

# Résumé

En partenariat avec l'Agence Régionale de Santé, ATMO Normandie a réalisé deux campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur dans la piscine de Breteuil. Il s'agit de la suite des mesures qui avaient été réalisées dans cet établissement en décembre 2016. Celles-ci avaient en effet révélé que les concentrations en chloroforme (une substance pouvant être cancérigène pour l'homme d'après le CIRC) dans l'air étaient anormalement élevées au regard des teneurs habituellement rencontrées dans d'autres établissements aquatiques cités dans la bibliographie. Suite à une réunion de présentation des résultats en présence de l'exploitant de la piscine de Breteuil, il a été proposé de l'accompagner afin de suivre l'évolution de la qualité de l'air en fonction des actions de remédiation (en particulier le réglage du système de déchloramination) qu'il était prêt à tester.

Les polluants investigués lors de ces nouvelles campagnes étaient les chloramines et les trihalométhanes (THM). Il s'agit des composés issus de la réaction entre les produits chlorés de désinfection de l'eau et la matière organique apportée par les baigneurs. Deux points de prélèvement ont été échantillonnés dans cet établissement pendant deux campagnes de mesures en période hivernale (décembre 2017). Deux scénarii ont été testés : un pendant l'arrêt complet du système de déchloramination et l'autre pendant son fonctionnement complet (9 lampes UV allumées). Les deux scénarii ont été testés en période de forte fréquentation et de brassage important de l'eau favorisant des concentrations plus élevées de polluants dans l'air.

Les résultats de mesures montrent l'augmentation des chloramines dans l'air pendant l'arrêt complet du système de déchloramination. Les valeurs mesurées ont largement dépassé la valeur limite de confort proposée par l'INRS et celle recommandée par l'ANSES. La baisse attendue du chloroforme n'a pas été observée dans ces conditions.

Lorsque le système de déchloramination est en fonctionnement complet les niveaux en chloramines sont plus faibles mais dépassent toutefois les valeurs recommandées par l'INRS ou l'ANSES. En ce qui concerne le chloroforme même si la variation des concentrations est faible entre les deux réglages, il est à noter que la concentration la plus élevée pendant ces deux campagnes a été enregistrée pendant le fonctionnement du déchloramineur.

Il serait intéressant de poursuivre la collaboration avec l'exploitant et l'ARS afin de définir les actions susceptibles d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans cet établissement.

# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
<b>2. Éléments nécessaires à la compréhension du document</b>	<b>7</b>
2.1. Contexte	7
2.2. Composés dans l'air des piscines présentant des risques pour la santé.	8
2.2.1. Les chloramines	9
2.2.2. Les trihalométhanes	11
2.3. Niveaux de pollution dans l'air des piscines – étude bibliographique	13
2.4. Approche choisie	18
2.5. Matériel	19
2.6. Méthodes	20
2.7. Origine des données	21
2.8. Limites	21
<b>3. Déroulement</b>	<b>22</b>
<b>4. Résultats</b>	<b>26</b>
4.1. Résultats bruts	26
4.2. Résultats transformés	26
4.2.1. Comparaison à titre indicatif des résultats par rapport aux valeurs de référence	26
<b>5. Interprétation des résultats et discussion</b>	<b>29</b>
<b>6. Conclusion et recommandations</b>	<b>30</b>
<b>7. Bibliographie</b>	<b>32</b>



## Sigles, symboles et abréviations

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air

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

ARS : Agence Régionale de Santé

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

INRS : Institut national de recherche et de sécurité

LDA : Laboratoire Départemental d'analyse de l'Eure

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

PRSE : Plan Régional Santé Environnement

SPC : Sous-produits de la chloration

THM : Trihalométhanes

US-EPA : United States Environmental Protection Agency

VGAI : Valeur Guide en Air Intérieur

VLCT : Valeur limite court terme

VLEP : Valeur limite d'exposition professionnelle

VTR : Valeur toxicologique de référence

# 1. Introduction

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II et de son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (2017-2021), Atmo Normandie développe des actions de sensibilisation et d'amélioration des connaissances sur le thème de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI). La réalisation de campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements aquatiques identifiés par l'ARS, s'inscrit dans cette thématique.

Dans le cadre d'une précédente convention entre l'ARS et Atmo Normandie, des campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur (Chloramines ou Trihalométhanes) ont été réalisées durant l'hiver 2016 dans 3 établissements aquatiques de Seine Maritime et de l'Eure. Ces établissements avaient été ciblés par l'ARS car une problématique relative aux chloramines ou aux trihalométhanes dans l'air ou dans l'eau y avait été identifiée.

Concernant la piscine de Breteuil, les résultats avaient révélé que les concentrations en chloroforme (une substance pouvant être cancérigène pour l'homme d'après le CIRC) dans l'air étaient anormalement élevées au regard des teneurs habituellement rencontrées dans d'autres établissements aquatiques cités dans la bibliographie.

Suite à une réunion de présentation des résultats en présence de l'exploitant de la piscine de Breteuil, il a été proposé de l'accompagner afin de suivre l'évolution de la qualité de l'air en fonction des actions de remédiation (en particulier le réglage du système de déchloramination) qu'il était prêt à tester. Le but de ce travail est aussi de porter à connaissance ces travaux afin de promouvoir d'autres initiatives de ce type.

C'est dans ce contexte et devant leurs intérêts convergents que l'ARS et Atmo Normandie ont décidé de mettre en œuvre deux nouvelles campagnes de mesures afin d'évaluer la qualité de l'air dans cet établissement en fonction des deux scénarii de réglage du système de déchloramination mis en place.

Ce rapport présente l'approche choisie pour la réalisation des campagnes de mesures, la méthodologie, le déroulement des campagnes ainsi que les résultats obtenus. Ces résultats sont ensuite confrontés à certaines valeurs de référence et aux résultats obtenus lors de différentes études en France ou en Europe.

Le présent document est destiné en premier lieu à l'ARS et à l'exploitant. Il est ensuite rendu disponible sur le site [www.atmonormandie.fr](http://www.atmonormandie.fr) pour tout public intéressé.

## 2. Éléments nécessaires à la compréhension du document

### 2.1. Contexte

Un établissement de natation couvert est un microenvironnement intérieur complexe qui se distingue des autres locaux (habitats, bureaux, locaux scolaires, gymnases, ...) par les caractéristiques de son ambiance, chaude et humide, et par la spécificité de ses équipements. Il s'agit aussi d'un espace de loisir que fréquente une palette très large de la population générale et notamment un public vulnérable aux polluants présents dans l'air (bébés nageurs, femmes enceintes, enfants scolarisés, personnes âgées, ...).

La contamination de l'eau de bassins peut être de deux types : biologique et chimique. Pour la santé et la sécurité des baigneurs la réglementation française impose aux gestionnaires d'établissements de natation de fournir aux baigneurs une eau désinfectée et désinfectante (article D1332-4 du code de la Santé Publique). En effet, pour assurer une bonne qualité bactériologique de l'eau, une simple élimination des germes n'est pas suffisante. L'eau doit aussi être désinfectante afin d'éliminer les micro-organismes pathogènes au fur et à mesure de leur introduction dans l'eau. C'est pourquoi, un excédent de désinfectant doit être maintenu en permanence. Le chlore et ses dérivés en raison de leurs excellentes propriétés bactéricides et rémanentes, de leur faible coût et de la facilité d'emploi (par exemple eau de Javel) sont les désinfectants les plus utilisés pour les opérations de désinfection.

Cependant, la chloration des eaux soulève une autre problématique, à savoir la formation de nombreux sous-produits (plus de 600 composés ont été identifiés) par oxydation de la matière organo-azotée et de substances inorganiques présentes dans l'eau brute (Richardson et al., 2010). Dans des eaux destinées à un usage récréatif (eaux de piscines), les composés organiques, azotés ou non, apportés par les baigneurs (sueur, urine, salive, squames, cheveux, produits cosmétiques) constituent les principaux précurseurs des sous-produits de la chloration (Kim et al., 2002). Un baigneur peut introduire au cours d'une seule séance de baignade de l'ordre de (Anses, 2012) :

- 0,5 à 1 g de carbone organique total
- 0,8 à 0,9 g d'azote Kjeldahl<sup>1</sup>
- 0,15 à 0,20 g d'azote sous forme d'ammoniac
- 1 à 1,6 g d'urée

Ces sous-produits de la chloration ou SPC, peuvent se trouver dans l'eau des bassins et certains d'entre eux étant hautement volatils peuvent aussi se retrouver dans l'atmosphère des halls des bassins (Le Cossec et al., 2016). La variation de ces SPC dans l'eau va dépendre de la fréquentation des bassins, de la quantité de chlore, du degré de « dégazage » des SPC volatils, de la qualité de l'eau brute utilisée (souvent l'eau de distribution, chlorée à la base qui peut déjà contenir des SPC), (Kim et al., 2002). Leur transfert en phase atmosphérique va dépendre de plusieurs facteurs, notamment leur volatilité, de l'agitation de l'eau et de la température de l'eau (AFNOR, XP X43-405, 2006). A souligner que la qualité de l'air des piscines est complètement tributaire du système de traitement de l'air et de son bon fonctionnement (pourcentage d'air neuf, débit d'air) (Hénoy et al.

---

<sup>1</sup> L'azote Kjeldahl est une appellation qui désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique

1994, Le Cossec et al, 2016). A côté de cela, un paramètre primordial à prendre en compte influençant la qualité de l'air est l'hygiène des baigneurs (Hénoy et al., 1995).

Le suivi et l'amélioration de la qualité de l'eau et de l'air des piscines sont un enjeu de santé publique. En effet, les nageurs et les personnels, en contact avec l'eau et l'air des piscines, peuvent être exposés aux sous-produits de la chloration de l'eau, par voie orale (ingestion accidentelle ou volontaire de l'eau), cutanéomuqueuse (par contact avec l'eau et les surfaces) ou respiratoire (inhalation d'aérosols), (Anses, 2012). Les bébés et les enfants sont les plus sensibles, alors que les maîtres-nageurs sont les personnes les plus longuement exposées (Parrat, 2008). Cet enjeu est d'autant plus important que les piscines constituent le quatrième lieu de loisirs en terme de fréquentation et de temps passé par les enfants français et que les effets des dérivés chlorés sur leur santé respiratoire sont de plus en plus évoqués (Guillam et al., 2007). Les enfants sont particulièrement à risque, à la fois en raison de facteurs biologiques (maturation pulmonaire, respiration buccale, fréquence respiratoire et rapport surface/poids élevés, peau perméable), comportementaux (ingestion d'une plus grande quantité d'eau) et environnementaux (eau plus chaude, forte densité de baigneurs, bassin peu profond) contribuant à une concentration des SPC (Parrat, 2008).

Plusieurs études ont caractérisé l'exposition des personnels, des nageurs et des enfants aux produits de la chloration. En Belgique, une étude initialement entreprise pour évaluer les effets respiratoires chroniques des polluants atmosphériques a mis en évidence de façon fortuite que le principal facteur fragilisant de l'arbre respiratoire des enfants était la fréquentation des piscines chlorées (Guillam et al., 2007). Cette étude, complétée par d'autres a montré une association entre les dérivés chlorés et l'augmentation de la prévalence d'asthme chez les enfants atopiques<sup>2</sup> et ceci plus particulièrement chez ceux ayant fréquenté la piscine très jeunes (avant 7 ans), (Bernard et al., 2003, 2006, 2007, 2009). Ces études montrent aussi une augmentation de l'inflammation des voies respiratoires chez tous les enfants (atopiques ou non). Cet effet s'expliquerait par l'action des dérivés chlorés sur la perméabilité de l'épithélium pulmonaire, les enfants dont les poumons sont en développement apparaissent comme les plus à risque. Tout ceci a conduit les auteurs à émettre l'hypothèse que l'exposition précoce des enfants au chlore des piscines pourrait être un des facteurs à l'origine de l'épidémie d'asthme infantile dans les pays industrialisés.

## 2.2. Composés dans l'air des piscines présentant des risques pour la santé.

Les principaux SPC volatils cités dans la littérature, rencontrés dans l'eau et l'air des piscines couvertes sont :

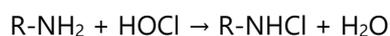
- les chloramines (majoritairement la trichloramine ou trichlorure d'azote,  $\text{NCl}_3$ , mono- et dichloramines)
- les trihalométhanes (THM) : chloroforme ( $\text{CHCl}_3$ ), dichlorobromoforme ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), chlorodibromoforme ( $\text{CHClBr}_2$ ) et bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ), (Bessonneau et al., 2011, Guillam et al., 2007)

---

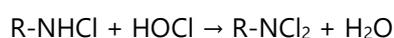
<sup>2</sup> Prédisposé génétiquement à développer des allergies communes comme la conjonctivite, l'eczéma ou le rhume des foies

## 2.2.1. Les chloramines

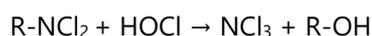
Les chloramines se forment dans l'eau par réaction entre les matières organiques azotées apportées par les baigneurs et l'acide hypochloreux libéré par l'introduction de produits chlorés pour désinfecter l'eau. Les trois chloramines sont formées selon les réactions suivantes (Lahl *et al.*, 1981, Parrat, 2008, Voisin, 2008, Carbonelle, 2003) :



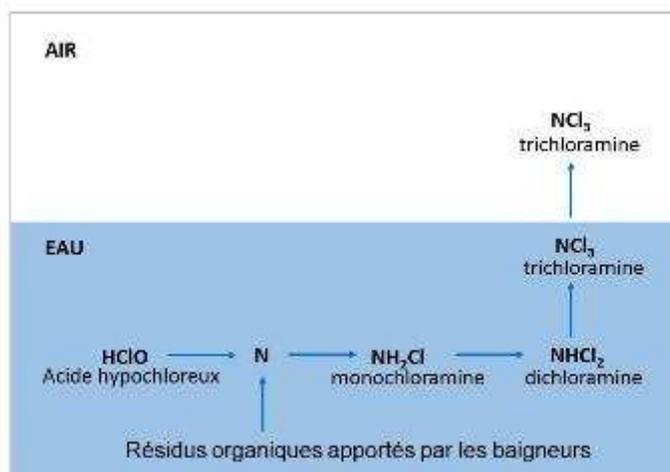
monochloramine :  
*pas d'odeur, irritante (eau)*



dichloramine :  
*odeur, irritante (eau)*



trichloramine :  
*volatile, odeur, irritante (air)*



*R représente un radical hydrocarboné*

**Figure 1 : Description des réactions chimiques formant les chloramines dans les piscines désinfectées par le chlore (Carbonelle, 2003)**

Le développement de ces réactions dépend du rapport entre les réactifs mis en jeu (en pratique du rapport entre Cl et N), du pH et des possibilités d'hydrolyse ou d'interaction entre les produits formés (Charlier *et al.*, 2003).

La monochloramine et la dichloramine sont instables dans l'eau et réagissent rapidement pour former la trichloramine. La trichloramine, du fait de sa faible solubilité dans l'eau, est la plus volatile et elle est transférée en phase gazeuse. C'est donc la trichloramine et non pas le chlore lui-même, comme on le croit parfois, qui est responsable de l'odeur caractéristique des halls des piscines (Héner *et al.*, 1994). Aucune information n'est actuellement disponible sur le passage transcutané des chloramines (Anses, 2012).

La trichloramine a un effet reconnu très irritant. Elle est responsable d'irritations oculaires, nasales, pharyngées et respiratoires (Massin *et al.*, 1998) dont se plaint souvent le personnel des piscines couvertes. Des études montrent que la présence des chloramines dans l'air des piscines est associée à une augmentation de la prévalence des manifestations allergiques (conjonctivites, rhinites, laryngites, etc.) et de l'asthme chez les nageurs de haut niveau. D'autres études ont aussi révélé des atteintes pulmonaires chez des nageurs. A ce

jour, aucune donnée relative à la cancérogénicité, la génotoxicité<sup>3</sup> et la mutagénicité<sup>4</sup> de la trichloramine n'est mentionnée dans la littérature. De même aucune donnée relative à la toxicité sur la reproduction et la tératogénicité<sup>5</sup> de la trichloramine n'est mentionnée dans la littérature (Anses, 2012).

L'avis de l'ANSES précise que l'exposition à la trichloramine augmenterait la fréquence et majorerait la gravité des maladies respiratoires (asthme, bronchites) et de l'eczéma chez les professionnels et les enfants (en particulier avant l'âge de deux ans) fréquentant régulièrement les piscines chlorées (Anses, 2012).

## Valeurs de référence :

### Chloramines

L'INRS préconise deux valeurs de référence (exprimées en équivalent trichlorure d'azote) :

- Valeur limite de « confort » : **0,5 mg/m<sup>3</sup>**, (Hénry, 1994), reprise par l'OMS en 2006
- Valeur limite court terme (VLCT-15min contraignante) : **1,5 mg/m<sup>3</sup>** (Article R.4412.149 Code du travail)

Par ailleurs, ANSES dans son avis du 9 juin 2010 relatif à « l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines » recommande le suivi de la trichloramine dans l'air avec une valeur limite de **0,3 mg/m<sup>3</sup>**.

La valeur limite de « confort » de 0,5 mg/m<sup>3</sup> proposée par l'INRS est issue des mesures et des entretiens avec les personnels de surveillance de baignade. En effet, les symptômes d'irritations oculaire et/ou respiratoire commençaient à apparaître pour des concentrations de chloramines voisines de 0,5 mg/m<sup>3</sup>. La valeur de 0,7 mg/m<sup>3</sup> était jugée excessive pour l'ensemble des participants de l'étude ((Héry *et al.*, 1994, 2000). Ces valeurs ont été confirmées par des expérimentations toxicologiques et une étude épidémiologique. L'étude épidémiologique a porté sur une population de 334 maîtres-nageurs employés dans 63 établissements, dont 17 centres ludiques et 46 piscines classiques avec bassins d'apprentissage et de natation. L'objectif était de comparer les niveaux d'exposition à la prévalence des troubles signalés par les participants : irritations oculaire et respiratoire, bronchite chronique, asthme, etc. Les résultats révèlent que la prévalence de troubles irritatifs est corrélée avec les niveaux d'exposition au trichlorure d'azote (Figure 2). Cette étude indique que la valeur de 0,5 mg/m<sup>3</sup> proposée initialement par l'INRS pourrait être abaissée à 0,3 mg/m<sup>3</sup> suite aux résultats obtenus.

---

<sup>3</sup> Capacité d'un agent à altérer le génome d'êtres vivants

<sup>4</sup> Capacité d'un agent à provoquer des mutations

<sup>5</sup> Capacité d'un agent à provoquer des malformations et/ou des troubles du développement dans la descendance d'organismes vivants

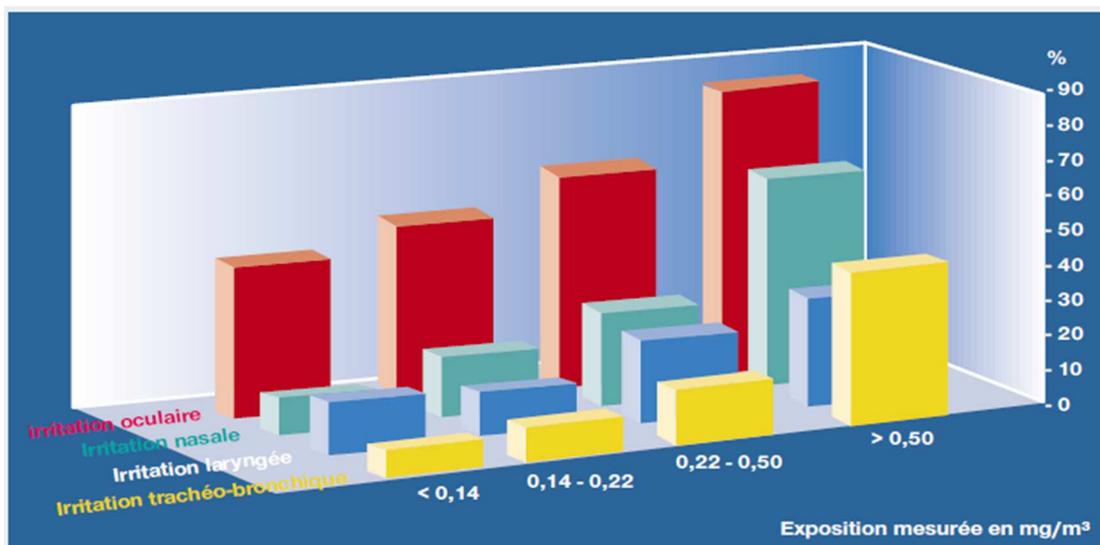


Figure 2 : Prévalence des signes d'irritation selon le niveau d'exposition au trichlorure d'azote mesurée (Héry, 2000)

### 2.2.2. Les trihalométhanes

Le chlore réagit également avec les substances organiques non azotées et forme des produits également irritants appelés haloformes, parmi lesquels figurent les trihalométhanes (THM), dont le plus connu est certainement le chloroforme (Figure 3).

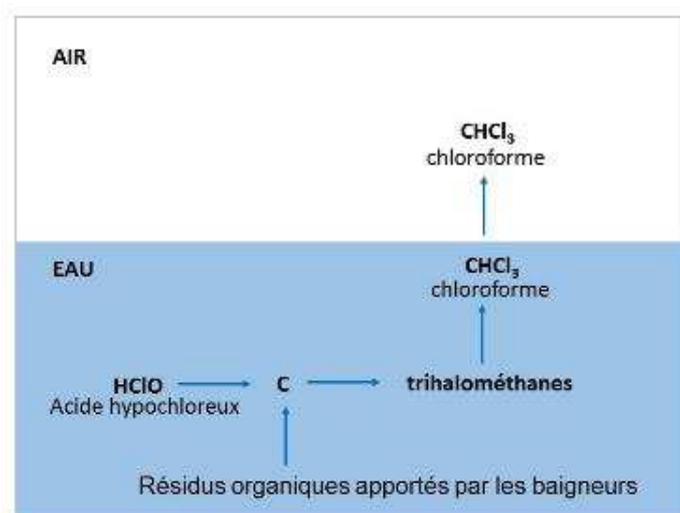


Figure 3 : Réactions chimiques formant le chloroforme dans les piscines désinfectées par le chlore, (Voisin, 2008, Carbonelle, 2003).

Les THM sont tous très volatils. En raison de leurs propriétés physico-chimiques (solubilité, volatilité, liposolubilité), les THM peuvent pénétrer dans l'organisme par voie orale, respiratoire ou cutanée (Anses, 2012). Une étude de Beech (1980) a montré que la pénétration du chloroforme dans l'organisme d'un enfant

de 6 ans immergé dans une eau de piscine, s'effectue à 60% par voie cutanée, 30% par voie respiratoire et 10 % par ingestion (Guillam *et al.*, 2007).

## **Chloroforme**

Parmi les trihalométhanes, le chloroforme a fait l'objet de nombreuses investigations du fait de son classement par le CIRC<sup>6</sup> dans le groupe 2B (« substance pouvant être cancérigène pour l'homme ») et par l'US-EPA<sup>7</sup> dans la catégorie B2 (« cancérigène probable pour l'homme »).

L'étude de Panyakapo (2008) montre que le risque de développer un cancer existe chez des nageurs exposés aux THM de l'eau de piscine et du robinet. Ces auteurs estiment que lors de l'activité de natation, la voie cutanée représente 94,2% du risque total d'exposition aux THM (Anses, 2012).

Les études de toxicité sur la reproduction et le développement chez les rongeurs et non rongeurs exposés par voie orale, n'ont pas permis de mettre en évidence des effets tératogènes. Cependant, pour cette même voie d'exposition, des effets sur la reproduction ont été observés à des doses toxiques pour les mères (cytotoxicité hépatique, rénale ou nasale), (Anses, 2012)

## **Bromoforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane**

L'inhalation de faibles doses de bromoforme provoque une irritation des muqueuses et une tendance à l'hypersalivation, au larmoiement et une rougeur du visage. A forte dose, apparaît une somnolence, un coma, des convulsions et des irritations pulmonaires pouvant aller jusqu'à la formation d'œdèmes pulmonaires. Aucune donnée épidémiologique n'est disponible concernant le dibromochlorométhane et le bromodichlorométhane.

Le bromoforme est classé 3 (« substance inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme ») par le CIRC et B2 (« cancérigène probable pour l'homme ») par l'US EPA.

Le bromodichlorométhane est classé 2B (« substance pouvant être cancérigène pour l'homme ») par le CIRC et B2 (« cancérigène probable pour l'homme ») par l'US EPA.

Le dibromochlorométhane est classé 3 (« substance inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme ») par le CIRC, mais C (« cancérigène possible pour l'homme ») par l'US EPA.

Les THM bromés sont considérés comme mutagènes (Anses, 2012).

L'avis de l'Anses sur l'évaluation des risques sanitaires liés aux piscines indique que les résultats du calcul de risques physico-chimiques après une absorption de chloroforme par voie orale ou respiratoire, pour les différentes populations considérées et selon des scénarii moyens et des scénarii maximums ne mettent pas en évidence de risque hépatotoxique ni cancérigène pour une exposition par voie orale et respiratoire pour ce polluant. Néanmoins, ses résultats sont à prendre avec précaution pour la voie respiratoire. En effet, la concentration moyenne de chloroforme dans l'air retenue dans ces calculs est vraisemblablement sous-estimée par rapport à la réalité (Anses 2012).

---

<sup>6</sup> Centre International de Recherche sur le Cancer

<sup>7</sup> United States Environmental Protection Agency

## Valeurs de référence :

### **Chloroforme**

L'INRS préconise :

- Valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h contraignante dans l'air) de **10 mg/m<sup>3</sup>** (Article R.4412.149 du Code du travail)

Par ailleurs, l'ANSES, dans son avis du 15 juin 2009 relatif à « l'élaboration de VTR cancérigènes par voie inhalée pour le tétrachlorure de carbone, le chloroforme et le 1,2-dichloroéthane » propose une valeur toxicologique de référence à seuil, VTR cancérigène de **0,063 mg/m<sup>3</sup>**. Il s'agit d'un risque cancérigène relatif à l'inhalation du chloroforme chez les enfants et les adultes.

### **Bromoforme :**

L'INRS préconise :

- Valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h indicative dans l'air) de **5 mg/m<sup>3</sup>**

## **2.3. Niveaux de pollution dans l'air des piscines – étude bibliographique**

Les concentrations en trichloramine et en chloroforme mesurées dans l'air des piscines lors de différentes études ont été récapitulées dans le Tableau 1 pour pouvoir comparer et situer les résultats obtenus lors de la présente étude. Les valeurs présentées dans le tableau proviennent des mesures à postes fixes. Concernant la hauteur de prélèvement, les mesures étaient réalisées entre 25 et 150 cm. A noter que la valeur de confort de l'INRS pour la trichloramine a été déterminée à 150 cm. La norme XP X43-405 du février 2006 précise que « *s'il s'agit d'apprécier le niveau d'exposition de personnes debout autour des bassins, les échantillonnages de polluants gazeux peuvent être réalisés à hauteur moyenne des voies respiratoires de l'ordre de 150 cm du sol sur la plage d'un bassin. S'il s'agit d'apprécier le niveau d'exposition des baigneurs, les échantillonnages doivent être effectués au plus près de leurs voies respiratoires et si possible tout en bordure du bassin.* » Par contre, ces derniers sont difficiles à mettre en œuvre du fait des projections d'eau, qui peuvent influencer les résultats de mesures (Bessonneau et al., 2010, Charlier et al., 2003). En effet, pour la trichloramine (NCl<sub>3</sub>), les projections d'eau peuvent introduire dans le système de prélèvement des ions chlorures qui seront ensuite dosés et quantifiés ce qui entrainera une surestimation des concentrations. Pour les THM, la projection d'eau dans le système de prélèvement peut créer un défaut de piégeage sur l'adsorbant, par phénomène de concurrence entre l'eau et les THM et donc une sous-estimation des concentrations. Bessonneau et al. indique que les concentrations en THM et en NCl<sub>3</sub> mesurées à différentes hauteurs (1,5 m contre 0,25 m) ne sont pas statistiquement différentes. Les mêmes conclusions étaient rapportées par Charlier (2003).

Par rapport au nombre de points de prélèvement, la norme AFNOR XP X43-405 préconise de prévoir plusieurs points de prélèvement afin d'obtenir un résultat représentatif de la qualité de l'air respiré par les baigneurs et

le personnel des piscines. Ce nombre peut être défini en fonction de l'importance de l'établissement (superficie, le nombre de bassins et la présence de différents équipements provoquant une forte agitation de l'eau). L'étude belge de Charlier (2003) visant à définir des normes pour le contrôle régulier des piscines indique que la répartition de la trichloramine autour du bassin semble homogène et le prélèvement d'air peut, en théorie, être réalisé à n'importe quel endroit autour du bassin. Cependant, dans un souci d'uniformisation des procédures, il a été décidé de manière arbitraire que le prélèvement d'air en vue du dosage de la trichloramine devra être effectué au niveau de la grande profondeur du bassin principal.

Concernant les niveaux de pollution de l'air des piscines, des dépassements de la valeur de confort en trichloramine ( $0,3 \text{ mg/m}^3$ ) sont observés. Par contre, les niveaux en chloroforme sont dans la plupart des cas relativement bas d'après les auteurs.

Plusieurs paramètres influençant les niveaux de la pollution de l'air des piscines sont cités dans la littérature, notamment :

- L'agitation de l'eau des bassins
- La ventilation des locaux
- La température de l'eau
- Le recyclage de l'air
- L'affluence des baigneurs dans les bassins
- L'hygiène des baigneurs

Pour exemple, l'étude de Massin et al. a mis en évidence des concentrations en chloramines plus fortes dans les centres équipés des bains bouillonnants, toboggans, vagues ou circuits aquatiques. Ce phénomène est lié aux températures de l'eau et de l'air plus élevées, l'agitation de l'eau plus forte et le recyclage de l'air. D'autres études ont également montré l'influence des fortes agitations de l'eau (jets, vagues, aquagym) sur des plus fortes concentrations en polluants dans l'air (Person et al., 2005).

Les conditions particulières de baignade des jeunes enfants (et aussi les bébés nageurs) : l'eau plus chaude, la forte densité de baigneurs, les bassins peu profonds, peuvent également conduire à des concentrations plus fortes en chloramines (Héry et al., 1994).

Une autre problématique des piscines est le traitement UV et son impact sur les concentrations en chloroforme. En effet, confrontés à des niveaux d'exposition élevés du personnel de surveillance au trichlorure d'azote (trichloramine) ainsi qu'à des teneurs importantes en chlore combiné dans les eaux de baignade, certains exploitants des centres aquatiques ont mis en place des systèmes complémentaires de traitement des eaux, basés sur l'irradiation UV. Ces appareils, couramment appelés déchloramineurs, appliqués à un milieu chloré et riche en substances anthropiques sont à l'origine de la formation de sous-produits indésirables tels que le chloroforme. Une étude de l'INRS a mis en évidence la forte contribution de l'irradiation UV à la formation du chloroforme et une possible augmentation du trichlorure d'azote dissous (Gérardin, 2005).

L'étude de Le Cossec et al. (2016) montre également que l'utilisation des UV augmente les concentrations en THM (en particulier en chloroforme) dans l'eau et dans l'air.

En ce qui concerne le lien entre la qualité de l'air et la qualité de l'eau, il est difficile d'établir une corrélation claire, sans doute en partie du fait des différentes caractéristiques des installations (Charlier et al., 2003). L'étude belge indique que la concentration en trichloramine dans l'air peut être corrélée avec le taux de chlore total, le taux de chlore libre et dans une moindre mesure avec le chlore combiné. L'étude de Person et al. (2005) rapporte même l'absence de corrélation entre les chloramines dans l'air et le chlore combiné. Les auteurs expliquent ce manque de corrélation par le fait que les chloramines dans l'air sont surtout des trichloramines (>80%) et que celles-ci représentent une faible part du chlore combiné.

Charlier et al. (2003) indique dans son étude une bonne corrélation entre le chloroforme présent dans l'air et le chlore combiné mesuré dans l'eau.

**Tableau 1 : Concentrations en trichloramine et en chloroforme dans l'air des piscines – données bibliographiques (Le Cossec et al., 2016, Guillam et al., 2007)**

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m <sup>3</sup> ]	Chloroforme [mg/m <sup>3</sup> ]
Héry, 1994 France	13 piscines	Chlore gazeux ou eau de javel	309  Différents sites sur les postes de travail des maîtres-nageurs	Moy : < <b>0.05</b> à <b>1.25</b>  Max : <b>0.21</b> à <b>1.92</b>	Moy : < <b>0.005</b> à <b>0.21</b>  Max : <b>0.05</b> à <b>0.36</b>
Aggazzotti, 1995 Italie	12 piscines	np*	88  Hauteur/eau : 1.5m	nm**	Moy : <b>0.048</b> à <b>0.460</b>  Max : <b>0.052</b> à <b>0.853</b>
Massin, 1998 France	46 piscines classiques (PC) 17 centres de loisirs aquatiques (CLA) Mesure en hiver	np	PC : 860 CLA : 402  Différents sites sur les postes de travail des maîtres-nageurs	PC : <b>0.24</b> ±0.17  CLA : <b>0.67</b> ±0.37	nm

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m <sup>3</sup> ]	Chloroforme [mg/m <sup>3</sup> ]
Fantuzzi, 2001 Italie	5 piscines publiques en 1998	np	Hall de piscine : 5 Réception : 5 Atelier de maintenance : 5	nm	Hall de piscine : <b>0.046</b> ±0.019 Réception : <b>0.022</b> ±0.019 Atelier de maintenance : <b>0.022</b> ±0.023
Thickett, 2002 Royaume-Uni	3 piscines	Eau de javel	15 Hauteur/sol : 1 m	Petit bassin : <b>0.23-0.57</b> Grand bassin : <b>0.1-0.31</b>	nm
Nickmilder, 2003 Belgique	3 piscines	chllore	np	Moy : <b>0.17-0.54</b> Petit bassin : <b>0.37-0.43</b> Grand bassin : <b>0.25-0.35</b>	nm
Charlier, 2003 Belgique	4 piscines	Chlore gazeux, eau de javel	32 par hauteur Hauteur/eau :25cm, 50cm, 150cm	A 25cm : <b>0.44</b> (0.31-0.56) A 50cm : <b>0.4</b> (0.22-0.53) A 150cm : <b>0.34</b> (0.21-0.39)	A 50 cm : <b>0.005</b> à <b>0.170</b>
Person, 2005 France	35 piscines publique à Paris	Chlore gazeux et eau de javel	Hauteur : 1-2m au-dessus des bassins ou 1.5m du sol	Moy : <b>0.26</b> Min-max : <b>0.083-0.66</b>	nm
Thoumelin, 2005 France	28 piscines	np	262 Hauteur/eau : 150cm, 1-3m des bassins	Moy : <b>0.225</b> (0.08-0.57) 2moy>0.50 Max : <b>0.36</b> (0.13-0.75) 6 valeurs >0.50	nm

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m <sup>3</sup> ]	Chloroforme [mg/m <sup>3</sup> ]
Jacobs, 2007 Pays Bas	38 piscines	Eau de javel, ozone, électrolyse	119  Hauteur/sol : 30-040cm et 150cm	<u>Bassins de loisir</u> : <b>0.54±0.27</b> Min-max : <b>0.13-1.34</b>  <u>Bassins de compétition</u> : <b>0.59±0.23</b> Min-max : <b>0.16-1.28</b>  <u>à 30cm</u> : <b>0.56±0.27</b> Min-max : <b>0.13-1.34</b>  <u>à 150cm</u> : <b>0.57±0.24</b> Min-max : <b>0.14-1.27</b>	nm
Richardson, 2010 Espagne	2 piscines	Chlore	Pour THM : 68 Pour chloramines : 6  Hauteur/sol : 60cm 1.5m des bassins	<b>0.29±0.10</b> min-max : <b>0.17-0.43</b>	<b>0.032±0.0119</b> min-max : <b>0.012-0.062</b>
Bessonneau, 2011 France	15 Eté/hiver, matin/après-midi	Eau de javel, hypochlorite de calcium, chlore gazeux	np  Hauteur/sol : 25cm et 150cm	<b>0.189</b> min-max : <b>0.0212-0.775</b>	<b>0.0641</b> Min-max : <b>0.00035-0.645</b>
Le Cossec, 2016 France	47	Chlore, UV, charbon actif, ozone	Pour chloramines : 812 Pour THM : 381  Hauteur/sol : 150cm	<b>0.183±0.113</b> min-max : <b>0.01-1.150</b>	<b>0.051±0.054</b> min-max : <b>&lt;LD-0.641</b>

Quelques résultats enregistrés par les AASQA					
Air Breizh, 2007	1	chlore	4 Hauteur/eau : 150cm et 80cm	à 150cm : <b>0.15-0.17</b>  à 80cm : <b>0.10-0.17</b>	
Atmo Nouvelle Aquitaine, 2017	1, Matin (classes scolaire, nageurs confirmés)/après-midi (grand public) ; novembre/avril	np	Pour chloramines : 2 Pour THM : 2	<u>Avril</u> : Matin : <b>&lt;0.277</b> Après-midi : <b>0.311</b>  <u>Novembre</u> : Matin : <b>0.531</b> Après-midi : <b>0.468</b>	Avril : Matin : <b>0.092</b> Après-midi : <b>0.104</b> Novembre : Matin : <b>0.113</b>  Après-midi : <b>0.0728</b>
Atmosf'air Bourgogne, 2014	4	Chlore avec ou sans déchloraminateur	Pour chloramines : 14 Pour THM : 14  Hauteur/eau : 180cm	Moy : <b>0.18-0.61</b> Min : <b>0.12-0.57</b> Max : <b>0.24-0.65</b>	Moy : <b>0.03-0.17</b> Min : <b>&lt;0.03-0.16</b> Max : <b>0.05-0.19</b>

\*np : non précisé, \*\*nm : non mesuré

## 2.4. Approche choisie

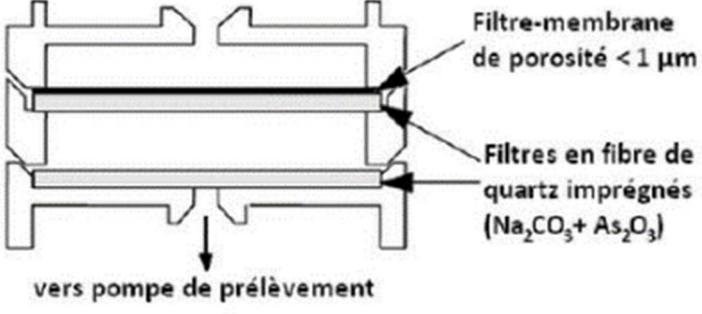
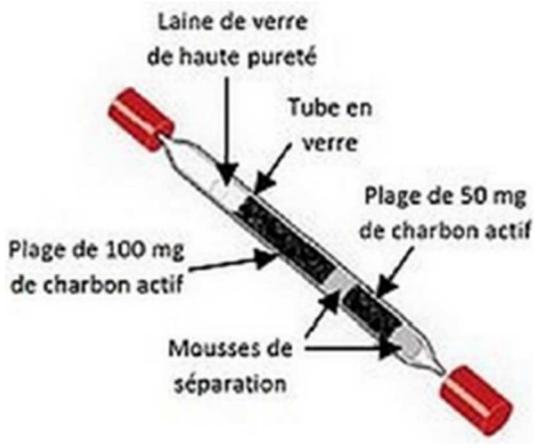
Afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur dans la piscine couverte de Breteuil, deux nouvelles campagnes de mesures ont été réalisées en décembre 2017 en mettant en œuvre des prélèvements actifs (c'est-à-dire par pompage). Chacune des campagnes a été réalisée avec un réglage du système de déchloramination différent. Durant la campagne de novembre 2016 dans la piscine de Breteuil, seuls les trihalométhanes (et en particulier le chloroforme) avaient été mesurés. Pour cette nouvelle étude, il est proposé de mesurer simultanément les trihalométhanes (THM) et les chloramines puisque les réglages du système de déchloramination peuvent conduire à une diminution de THM mais à une augmentation des chloramines. Un compromis dans le réglage sera donc à trouver pour tenter de limiter les THM tout en n'augmentant pas trop les chloramines. Les prélèvements ont été réalisés pendant la présence des groupes scolaires, principalement en jeux libres avec un brassage d'eau important, ce qui est un facteur favorisant l'augmentation des concentrations en polluants dans l'air.

## 2.5. Matériel

Le matériel de prélèvement et de mesure utilisé est présenté dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Descriptif du matériel employé lors des campagnes de mesures

<p>Pompe de prélèvement GilAir Plus avec son tuyau souple de connexion pompe-échantillonneur et un système de double prélèvement pour la mesure simultanée sur cassette et sur tube</p>	 
<p>Support pour assurer une hauteur minimum de prélèvement et éviter les projections d'eau sur les pompes.</p>	

<p>Cassettes porte-filtre contenant un filtre téflon pour arrêter la pollution particulaire (gouttelettes) et deux filtres en fibres de quartz imprégnés d'une solution de carbonate de sodium et de trioxyde diarsenic pour la mesure des chloramines</p>	
<p> Tubes en verre contenant du charbon actif pour la mesure des trihalométhanes</p>	
<p>Sonde d'humidité et de température Ebro, EBI 20</p>	

## 2.6. Méthodes

Pour le prélèvement et l'analyse des chloramines, la méthodologie développée par l'INRS (MétroPol M-104) a été appliquée. Il s'agit d'un prélèvement actif sur cassette avec filtres imprégnés au moyen d'une pompe autonome dont le débit est contrôlé au début et à la fin de l'échantillonnage et d'une analyse par chromatographie ionique. Le résultat est exprimé en équivalent trichlorure d'azote.

En ce qui concerne les trihalométhanes, une méthode basée sur le prélèvement par pompage sur tube de charbon actif au moyen d'une pompe autonome dont le débit est contrôlé au début et à la fin de l'échantillonnage et l'analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme (FID) a été appliquée (NF X 43-267, MétroPol M-374).

Afin de vérifier qu'aucune contamination extérieure n'ait pu fausser les résultats d'analyse, un « blanc terrain » est réalisé.

Après exposition, les échantillonneurs ont été déposés au laboratoire Alpa Chimies de Rouen (49 Rue Mustel) pour analyse.

## 2.7. Origine des données

Les données présentées dans ce rapport proviennent des analyses réalisées par le Laboratoire Alpa Chimies de Rouen sur les prélèvements effectués par Atmo Normandie lors des deux campagnes de mesures. Ces données de mesures sont complétées par des informations fournies par l'exploitant du complexe aquatique et dont certaines sont susceptibles d'expliquer certains résultats. Les données d'humidité et de température ont été enregistrées avec les sondes mises en place pendant la durée des prélèvements et ensuite exploitées par Atmo Normandie.

## 2.8. Limites

Le niveau de pollution intérieure fluctue pendant l'année : les résultats sont donc représentatifs d'une situation donnée. Notamment le débit d'air recyclé est plus élevé en hiver qu'en été, d'où des niveaux de concentration de polluants gazeux généralement plus élevés l'hiver pour des conditions de fréquentation et d'exploitation équivalentes (Afnor XP X43-405). L'ouverture des baies vitrées (plus fréquente l'été) peut également influencer les concentrations des polluants en air intérieur. Par ailleurs, la production des chloramines et des THM est corrélée avec le nombre de baigneurs. Les concentrations sont en général plus faibles en période de faible fréquentation.

Les deux campagnes de mesures réalisées dans la piscine de Breteuil dans le cadre de cette étude se sont déroulées en période hivernale et pendant une forte fréquentation de la piscine associée à un brassage de l'eau important. Ces conditions favorisent donc la présence de concentrations élevées de polluants (chloramines et THM) dans l'air. Les résultats obtenus ne sont donc représentatifs que de cette situation qui a été choisie à la fois pour approcher l'exposition maximale des enfants à ces polluants et par ailleurs pour se placer dans des conditions proches de la précédente étude réalisée dans cette piscine (hiver 2016).

Enfin, les valeurs de références utilisées dans ce rapport sont susceptibles de modifications ultérieures du fait de l'évolution des connaissances.

### 3. Déroulement

L'évaluation de la qualité de l'air intérieur a été réalisée dans la piscine de Breteuil (département de l'Eure).

❖ La piscine de Breteuil comporte :

Un bassin intérieur de 25x10m

**Traitement d'eau** : UV, filtration à diatomée, hypochlorite de calcium, acide sulfurique liquide

**Activités spécifiques** : groupes scolaires, bébés nageurs, cours de natation, aquagym, cours de plongée, cours de palmes



Avant la réalisation des campagnes de mesures, Atmo Normandie a défini avec l'exploitant et l'ARS les scénarii à tester et a pris connaissance des activités et des fréquentations de la piscine. Ces informations ont ensuite permis de définir la période la plus propice pour le prélèvement.

Deux campagnes de mesures ont été réalisées pour tester deux scénarii de réglage du système de déchloramination :

- Scénario n°1 : pendant l'arrêt de toutes les lampes UV du système de déchloramination
- Scénario n°2 : pendant le fonctionnement des 9 lampes du système de déchloramination

Pendant les deux campagnes la ventilation a fonctionné avec l'apport d'environ 30% d'air neuf. Les extracteurs d'appoint étaient en arrêt et toutes les baies vitrées étaient fermées.

Les dates de campagnes, les paramètres mesurés et le nombre des points de prélèvement sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3 : Caractéristiques des campagnes de mesure**

Piscine BRETEUIL	Date de campagne	Paramètres mesurés	Durée et débit de prélèvement	Nombre et hauteur des points de prélèvement
Campagne 1 scénario n°1	18 décembre 2017 9h30-11h30	THM	2h00, 200 ml/min	2, 1,00m
		Chloramines	2h00, 1000 ml/min	2, 1,00m
		Température, Humidité	2h00	2, 1,00m
Campagne 2 scénario n°2	21 décembre 2017 9h20-11h20	THM	2h00, 200 ml/min	2, 1,00m
		Chloramines	2h00 1000 ml/min	2, 1,00m
		Température, Humidité	2h00	2, 1,00m

Les deux campagnes ont été effectuées en présence des groupes scolaires :

- 1<sup>ère</sup> campagne : groupes de 47-48 enfants ; jeux libres pour tous les groupes d'enfants
- 2<sup>ème</sup> campagne : groupes entre 30 et 47 enfants ; jeux libres, jeux contrôlés ou cours de natation en fonction du groupe

Les prélèvements des THM et des chloramines ont été effectués au niveau des 2 points suivants :

→ Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m), durée de prélèvement : 2h00, hauteur de prélèvement : 1,00m



→ Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m), durée de prélèvement : 2h00, hauteur de prélèvement : 1,00m



Le plan avec les emplacements des points de prélèvement dans la piscine de Breteuil pendant les deux campagnes est présenté sur la Figure 4. Les mesures ont été effectuées à la hauteur de 1,0 m, à distance de 1,90 m de la bordure de la piscine pendant 2 heures. Elles ont été réalisées pendant les activités de baignade et notamment pendant les jeux libres de différents groupes scolaires dans le but d'évaluer l'exposition maximale des enfants et de se positionner dans les conditions similaires à la campagne précédente de décembre 2016. Pendant la première campagne, avec le déchloramineur en arrêt, tous les groupes scolaires ont fait des jeux libres. Pendant la deuxième campagne, avec le déchloramineur en fonctionnement, différents types d'activités ont été pratiqués : jeux libres, cours de natation et jeux contrôlés.

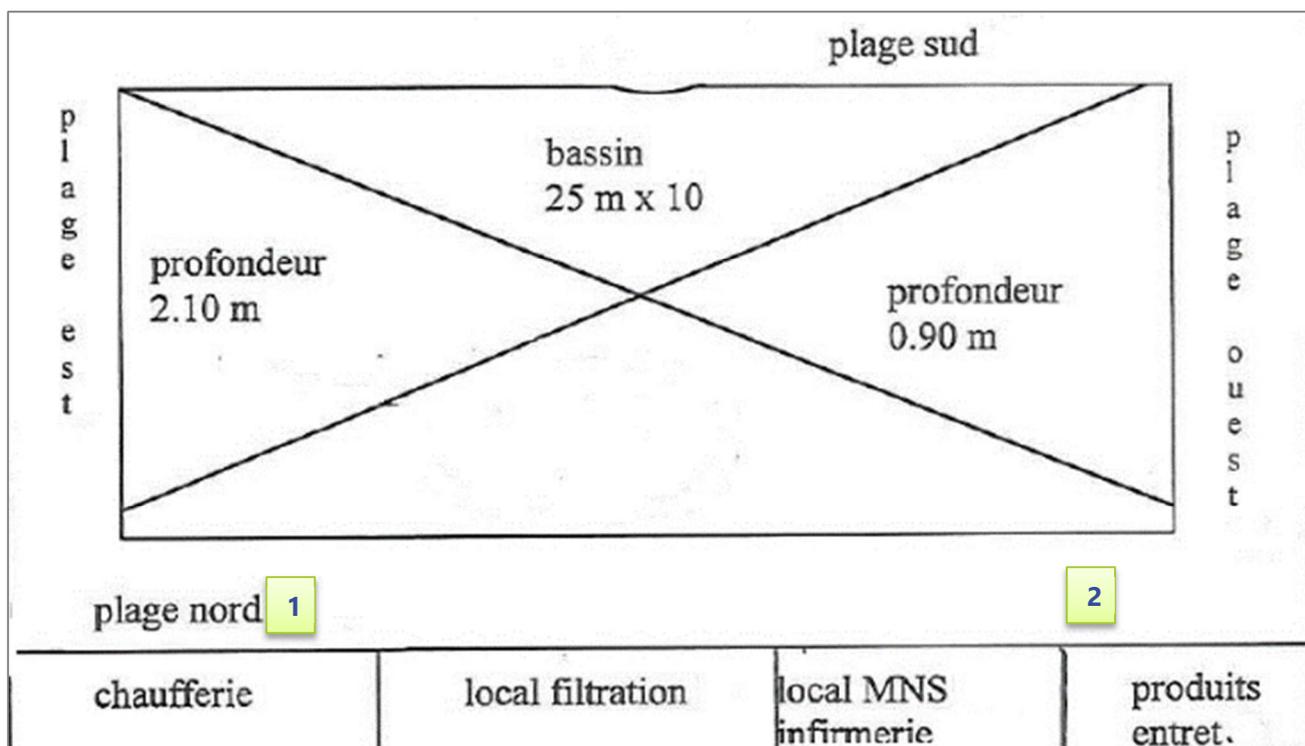


Figure 4 : Emplacement des points de prélèvement à la piscine de Breteuil

A la fin de chaque campagne de mesures, les échantillons (cassettes pour les chloramines et tubes en charbon actif pour les THM) ont été retirés, conditionnés et déposés au laboratoire Alpa Chimies de Rouen pour analyse.

En parallèle des mesures de polluants, les paramètres climatiques, hygrométrie et température de l'air, ont été relevés au niveau de chaque point de prélèvement. Les résultats de ces relevés sont récapitulés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Conditions de température et d'hygrométrie relevées lors des campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur à la piscine de Breteuil

Campagne et point de prélèvement	Hygrométrie [%]	Température de l'air [°C]
<b>Campagne 1, scénario n°1 :</b>		
○ Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	87	26
○ Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m)	73	25
<b>Campagne 2, scénario n°2 :</b>		
○ Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	74	26
○ Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m)	76	25

L'ARS a par ailleurs effectué le contrôle physico-chimique et bactériologique de l'eau (analyse effectuée par Laboratoire Départemental d'analyse de l'Eure-LDA, Evreux), (Tableau 5).

**Tableau 5 : Résultats d'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau effectué par l'ARS et le LDA d'Evreux**

Mesures de terrain	RESULTATS : Campagne n°1 18 décembre 2017	RESULTATS : Campagne n°2 21 décembre 2017	Norme en vigueur
Transparence quantitative	Conforme qualit.	Conforme qualit.	
Température de l'eau	<b>28,1 °C</b>	<b>28,0 °C</b>	
Fréquentation au moment du prélèvement	Forte	Forte	
pH	<b>7,2</b> unité pH	<b>7,3</b> unité pH	6,9 à 7,7
Chlore combiné	<b>0,47</b> mg/LCl <sub>2</sub>	<b>0,41</b> mg/LCl <sub>2</sub>	<b>&lt;0,6</b>
Chlore total	<b>1,99</b> mg/LCl <sub>2</sub>	<b>1,74</b> mg/LCl <sub>2</sub>	
Chlore libre	<b>1,52</b> mg/LCl <sub>2</sub>	<b>1,33</b> mg/LCl <sub>2</sub>	
Chlore libre actif	<b>0,94</b> mg/LCl <sub>2</sub>	<b>0,80</b> mg/LCl <sub>2</sub>	0,4 à 1,4
<i>MINERALISATION :</i> Chlorures	<b>101,3 mg/L</b>	<b>101,3 mg/L</b>	Réf 250 mg/L
<i>OXYGENE et MO :</i> Carbone organique total	<b>4,30 mg/L C</b>	<b>4,31 mg/L C</b>	
<i>Paramètres microbiol.</i> Escherichia coli/100ml-MF	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>&lt;1 n/100mL</b>	0
Staphylocoques pathogènes par 100ml	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>&lt;1 n/100mL</b>	0
Bact. Aér. Revivifiable à 36°-44h	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>1 n/100mL</b>	<100
Entérocoques/100ml-MS	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>&lt;1 n/100mL</b>	
Bactéries coliformes/100ml-MS	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<10
Pseudomonas aëraginosa par 100ml	<b>&lt;1 n/100mL</b>	<b>&lt;1 n/100mL</b>	
<i>SOUS-PRODUIT DE DESINFECTION</i> Chloroforme	<b>64,0 µg/L</b>	<b>64,6 µg/L</b>	
Bromoforme	<b>&lt;1 µg/L</b>	<b>&lt;1 µg/L</b>	
Chlorodibromométhane	<b>&lt;1 µg/L</b>	<b>&lt;1 µg/L</b>	
Dichloromonobromométhane	<b>4,6 µg/L</b>	<b>1,6 µg/L</b>	
THM (4 substances)	<b>68,6 µg/L</b>	<b>66,2 µg/L</b>	(*)

(\*) Recommandations ANSES, mars 2012 :

- Valeur limite : 100µg/L

- Valeur guide : 20 µg/L

Les mesures des chloramines dans l'eau ont été réalisées à différents moments de la journée afin de suivre leur évolution (Tableau 8).

**Tableau 6 : Résultats d'analyse des chloramines dans l'eau\* effectué par l'ARS, le LDA d'Evreux ou le gestionnaire de la piscine**

<b>18/12/2017</b>	7h25 mesure par le gestionnaire	11h00 mesure par ARS	11h25 mesure par LDA	15h50 mesure par le gestionnaire
	<b>0,25</b> mg/L	<b>0,66</b> mg/L	<b>0,47</b> mg/L	<b>0,54</b> mg/L
<b>21/12/2017</b>	6h30 mesure par le gestionnaire	10h15 mesure par ARS	16h15 mesure par le gestionnaire	
	<b>0,48</b> mg/L	<b>0,41</b> mg/L	<b>0,56</b> mg/L	

\*Norme en vigueur : <0,6 mg/L

## 4. Résultats

### 4.1. Résultats bruts

Les résultats bruts des mesures de trihalométhanes et de chloramines sont disponibles sur demande auprès d'Atmo Normandie ([contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)).

### 4.2. Résultats transformés

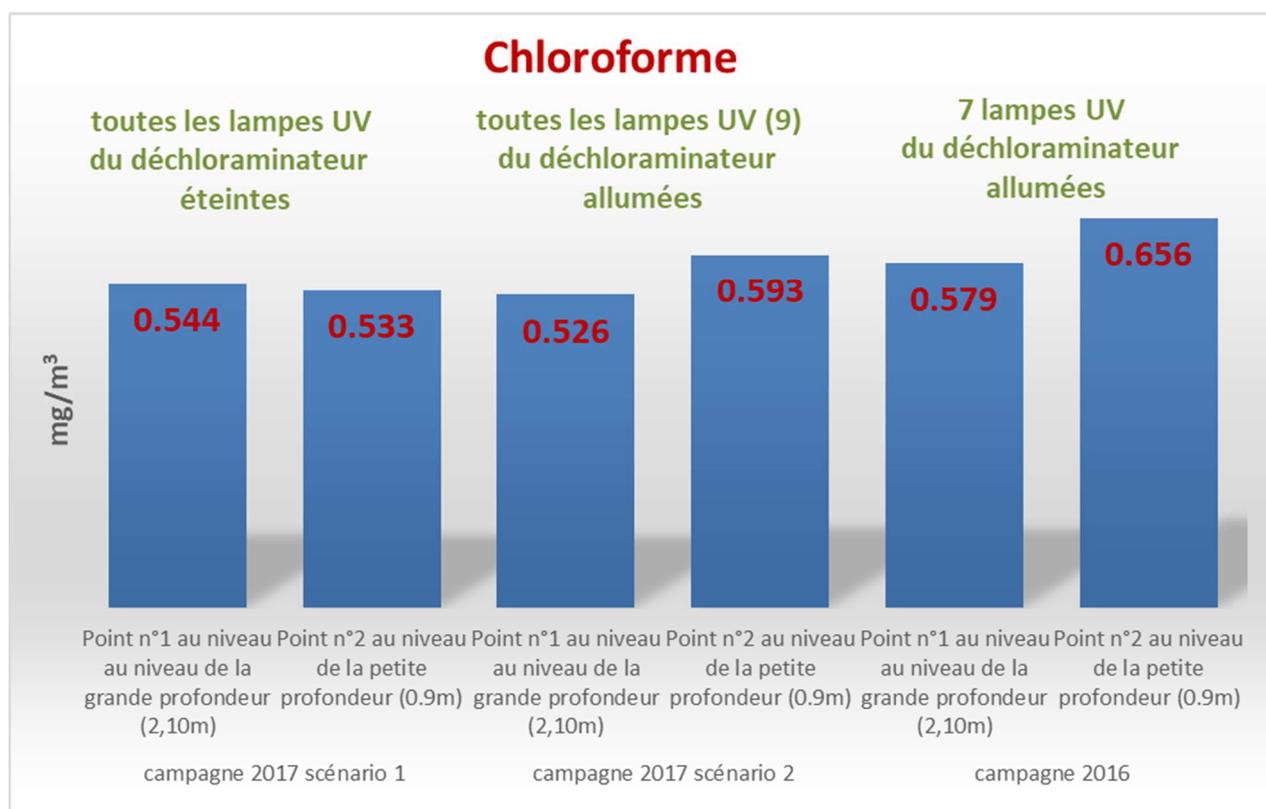
#### 4.2.1. Comparaison à titre indicatif des résultats par rapport aux valeurs de référence

Les résultats de mesures des chloramines et des trihalométhanes sont récapitulés dans les Tableau 7 et Tableau 8. Ils sont comparés à certaines valeurs françaises de référence.

A la piscine de Breteuil parmi les 4 THM recherchés (le chloroforme, le bromoforme, le dichlorobromométhane et le dibromochlorométhane) seul le chloroforme a pu être quantifié. Les 3 autres THM recherchés sont tous inférieurs à la limite de quantification. Les concentrations en chloroforme varient peu (entre 0,53 et 0,59 mg/m<sup>3</sup>) entre les deux réglages testés. La valeur la plus forte a été mesurée au niveau de la petite profondeur du bassin lorsque toutes les lampes UV du déchloramineur étaient en fonctionnement (scénario n°2). Les concentrations mesurées en chloroforme à la piscine de Breteuil sont largement inférieures à la VLEP-8h, mais cette VLEP n'a pas été construite pour ce type d'exposition. Elle est citée ici à titre de référence par manque de valeur guide pour ce polluant en air intérieur. Par contre, les concentrations mesurées apparaissent élevées par rapport aux concentrations rapportées dans les études diverses (cf. Tableau 1). Les concentrations mesurées en 2017 sont proches des concentrations mesurées lors de la campagne précédente en 2016 qui variaient entre 0,58-0,66 mg/m<sup>3</sup> (Atmo Normandie, 2017).

**Tableau 7 : Résultats de mesures des trihalométhanes à la piscine de Breteuil et comparaisons avec les valeurs de référence**

Point de prélèvement	Chloroforme mg/m <sup>3</sup>	Bromoforme mg/m <sup>3</sup>	Dichlorobromométhane mg/m <sup>3</sup>	Dibromochlorométhane mg/m <sup>3</sup>
<b>VLEP-8h</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	-	-
<b>Campagne 1, scénario n°1</b>				
Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	<b>0,544</b>	<0,1	<0,1	<0,1
Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m)	<b>0,533</b>	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Campagne 2, scénario n°2</b>				
Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	<b>0,526</b>	<0,1	<0,1	<0,1
Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m)	<b>0,593</b>	<0,1	<0,1	<0,1

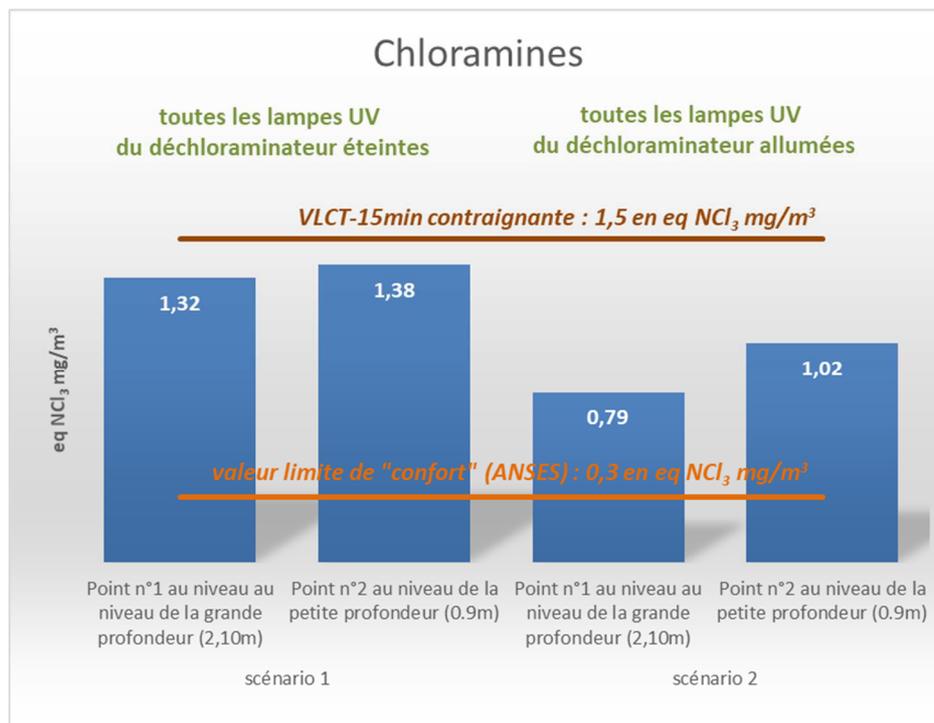


**Figure 5 : Résultats de mesures des trihalométhanes à la piscine de Breteuil en 2016 et 2017**

Les niveaux des chloramines mesurés pendant les deux campagnes de mesures sont élevés. Toutes les valeurs dépassent largement la valeur limite de « confort » recommandée par l'ANSES (de 0,3 mg/m<sup>3</sup>) et celle proposée par l'INRS (de 0,5 mg/m<sup>3</sup>). Les concentrations les plus fortes en chloramines ont été enregistrées pendant la première campagne quand toutes les lampes UV ont été éteintes. Lors de cette campagne les valeurs sont proches de la VLCT-15min contraignante de 1,5 mg/m<sup>3</sup>. La valeur maximale de 1,38 mg/m<sup>3</sup> a été mesurée au niveau de la petite profondeur.

**Tableau 8 : Résultats de mesures des chloramines à la piscine de Breteuil et comparaisons avec les valeurs de référence**

Point de prélèvement	Chloramines en eq $\text{NCl}_3$ $\text{mg}/\text{m}^3$
Valeur limite de « confort » (INRS)	0,5
Valeur limite (Recommandation ANSES)	0,3
VLCT-15min contraignante	1,5
<b>Campagne 1, scénario n°1</b>	
Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	1,32
Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0.9m)	1,38
<b>Campagne 2, scénario n°2</b>	
Point n°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m)	0,79
Point n°2 au niveau de la petite profondeur (0.9m)	1,02



**Figure 6 : Résultats de mesures des chloramines à la piscine de Breteuil et comparaisons avec les valeurs de référence**

## 5. Interprétation des résultats et discussion

Pendant la présente étude, deux réglages du système de déchloration ont été testés. Afin de vérifier l'impact de ces réglages sur la qualité de l'air intérieur de la piscine de Breteuil les trihalométhanes (THM) et les chloramines ont été mesurés simultanément. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- **Pendant l'arrêt complet du système de déchloration (scénario n°1)** une augmentation des concentrations en chloramines dans l'air a été enregistrée. Les valeurs mesurées ont largement dépassé la valeur limite de confort proposée par l'INRS et celle recommandée par l'ANSES. De plus, elles ont été très proches de la VLCT-15min contraignante. En ce qui concerne le chloroforme, ses concentrations suite à l'arrêt du déchlorationneur, n'ont pas diminué significativement. Elles sont même restées du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées pendant le fonctionnement du système de déchloration. Le même constat a été fait dans l'eau du bassin. Les niveaux enregistrés dans l'air restent élevés en les comparant avec les concentrations rapportées dans les études diverses (cf. Tableau 1). Ils se rapprochent plutôt des concentrations maximales citées dans ces différentes études. A l'inverse, les concentrations mesurées dans l'eau sont plus faibles que les valeurs recommandées et a fortiori que celles régulièrement mesurées depuis plusieurs années dans cette piscine.
- **Lorsque toutes les lampes UV du système de déchloration étaient allumées (scénario n°2)** les niveaux de chloramines dans l'air sont plus faibles mais ils dépassent toutefois largement les valeurs limites recommandées par l'INRS ou l'ANSES. A noter que dans l'eau, la plupart des concentrations mesurées sont inférieures à la valeur recommandée.

Les concentrations en chloramines mesurées lors de deux campagnes restent dans les fourchettes hautes des concentrations mesurées, citées dans les différentes études (cf. Tableau 1) alors qu'il était attendu qu'avec le système de déchloration en fonctionnement complet (toutes les lampes UV allumées) le niveau des chloramines resterait faible. Cela n'a pas été le cas. Le système de déchloration installé dans cette piscine n'a pas permis de diminuer des niveaux de chloramines au-dessous des valeurs limites de « confort » recommandées.

En ce qui concerne le chloroforme dans l'air, même si la variation de ses concentrations est faible, il est à noter que la concentration la plus élevée en chloroforme a été enregistrée pendant le fonctionnement du déchlorationneur.

L'analyse des paramètres climatiques indique des variations d'hygrométrie entre les deux points de prélèvement pendant la première campagne (scénario 1). L'origine de cette variation d'humidité pourrait être un fonctionnement non uniforme du système de ventilation qui mériterait d'être vérifié.

Les deux campagnes ont été réalisées pendant deux matinées d'hiver de la même semaine en présence de groupes scolaires. La seule différence en terme d'activité entre les deux campagnes était que pendant la première campagne tous les groupes scolaires étaient en activité des jeux libres alors que pendant la

deuxième campagne, en plus des jeux libres une partie des activités étaient les cours de natation et jeux contrôlés. On peut supposer que le brassage d'eau était plus important pendant la première campagne. Cela peut avoir également une influence sur les concentrations des polluants dans l'air de la piscine, en plus de l'impact du réglage de système de déchloramination.

## 6. Conclusion et recommandations

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'air intérieur de la piscine de Breteuil, des mesures de chloramines et de trihalométhanes ont été réalisées pendant deux campagnes de mesures, afin de vérifier l'impact du réglage du système de déchloramination sur leurs concentrations.

Deux scénarii ont été testés :

- Scénario n°1 : pendant l'arrêt de toutes les lampes UV du système de déchloramination
- Scénario n°2 : pendant le fonctionnement des 9 lampes du système de déchloramination

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Pendant l'arrêt complet du système de déchloramination (scénario n°1) l'augmentation des chloramines dans l'air a été enregistrée. Les valeurs mesurées ont largement dépassé la valeur limite proposée par l'INRS et celle recommandée par l'ANSES. En revanche, les concentrations mesurées dans l'eau du bassin sont conformes à la norme en vigueur pour les chloramines. Par contre, la baisse attendue du chloroforme dans l'air n'a pas été observée dans ces conditions.
- Pendant le fonctionnement du système de déchloramination (scénario n°2) les niveaux en chloramines dans l'air sont plus faibles mais ils dépassent toutefois largement les valeurs limites recommandées par l'INRS ou l'ANSES. En ce qui concerne le chloroforme dans l'air même si la variation des concentrations est faible, il est à noter que la concentration la plus élevée a été enregistrée pendant le fonctionnement du déchloramineur.

Il serait intéressant de poursuivre la collaboration avec l'exploitant et l'ARS afin de définir d'autres actions susceptibles d'améliorer la qualité de l'air intérieur dans cet établissement, notamment pour comprendre le lien entre la concentration en chloramines et en THM dans l'air/eau et le fonctionnement du système de déchloramination.

Par ailleurs, il est aussi important de rappeler que cet établissement date des années 70. Il rencontre quelques problèmes au niveau de l'isolation de la toiture (ouvrable) qui n'est pas complètement étanche à l'air. Il est possible que cela puisse influencer le système de ventilation qui pourrait avoir des difficultés à réguler le débit d'air. De ce fait, il sera intéressant de s'assurer également du bon fonctionnement du système de ventilation.

Enfin, lors de la réunion de présentation des résultats du 15 février 2018 en présence de l'ARS et de l'exploitant, l'ARS a demandé qu'un audit complet de la piscine soit effectué.

En attendant les résultats de cet audit, une campagne de mesures supplémentaire pourrait être effectuée afin de vérifier si la ventilation d'appoint déclenchée par les employés de la piscine apporte une amélioration ponctuelle de la qualité de l'air.

## 7. Bibliographie

AFNOR, norme XP X43-405 février 2006, Audit de la qualité de l'air dans les piscines. ISSN 0335-3931. 21 p.

AGGAZZOTTI G, Fantuzzi G, Tighi E, Predieri G. 1995. Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. *J Chromatogr*, 710 : 181-190.

Air Breizh, 2007. Mesure de la trichloramine dans l'air de la piscine de Lamballe Communauté. 9 p.

ANSES juin 2009, Valeurs toxicologiques de référence (VTR). Élaboration de VTR fondées sur les effets cancérigènes pour le chloroforme, le tétrachlorure de carbone et le 1,2-dichloroéthane. Avis de l'Afsset, Rapport d'expertise collective. 87p.

ANSES mars 2012, Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines Partie I : piscines réglementées. Avis de l'Afsset, Rapport d'expertise collective. Édition de juin 2010 avec addendum de mars 2012, 252 p.

ATMO Normandie, 2017. Evaluation de la qualité de l'air intérieur de 3 établissements aquatiques en Normandie. Rapport n°1720-004.

ATMO Nouvelle Aquitaine, 2017. Evaluation de la qualité de l'air, centre aquatique « La Piscine », Brive la Gaillarde, Corrèze (19) 2016. QAI\_E20-2016. 24 p.

Atmos'air Bourgogne, janvier 2014, Surveillance de la qualité de l'air intérieur de quatre piscines couvertes en Bourgogne. Rapport n°92. 26 p.

BEECH, JA. 1980. Estimated worst case trihalomethane body burden of a child using swimming pool. *Medical Hypotheses* 6 : 303-307.

BERNARD A., Carbonnelle S., Michel O., et al. 2003. Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren : unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occup Environ Med.*, n° 60, pp. 385-394.

BERNARD A, Carbonnelle S, de Burbure C. et al. 2006. Chlorinated pool attendance, atopy, and the risk of asthma during childhood. *Environ. Health Perspect.*, n°-114, p.-1567-1573.

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. *Pediatrics*, n°-119, p.-1095-1103.

BERNARD A, Nickmilder M, Voisin C. et al. 2009. Impact of chlorinated swimming pool attendance on the respiratory health of adolescents. *Pediatrics*, n°-124, p.-1110-1118.

BESSONNEAU V, Clement M, Derbez M. juillet 2010. Détermination de la contamination de l'air intérieur des piscines par les sous-produits de désinfection. OQAI, EHESP. Rapport final. 58p.

BESSONNEAU V., Derbez M., Clément M., Thomas O. 2011. Détermination de la variabilité spatio-temporelle de la contamination de l'air intérieur des piscines couvertes par les sous-produits de chloration. *Air Pur*, n°80.

CARBONELLE S., « Les risques sanitaires des produits dérivés de la chloration des eaux de bassins de natation », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 4 Numéro 1 | mai 2003, mis en ligne le 01 mai 2003, consulté le 10 mai 2017. URL : <http://vertigo.revues.org/4638> ; DOI : 10.4000/vertigo.4638.

CHARLIER G, Burlion N, Schrooten D et al. 2003. Etude de la qualité de l'air des piscines visant à définir des normes pour le contrôle régulier de ces établissements. Rapport final, Liège (Belgique). Convention ISSeP/Ministère de la région Wallonne n° 01/13240.

FANTUZZI G, Righi E, Predieri G et al. 2001. Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Total Environ*, 264 : 257-265.

GERARDIN F, Hecht G, Hubert-Pelle G et al. 2005. Traitement UV : suivi de l'évolution des concentrations en chloroforme et en trichlorure d'azote dans les eaux de baignade d'un centre aquatique. INRS, Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, 201 : 19-29.

GUILLAM M-T, Thomas N, Nedellec V, et al. octobre 2007. Les piscines couvertes en France : caractéristiques, fréquentation et qualité de l'air. OQAI, rapport DESE-SB-2007-59. 74 p.

HERY M, Hecht G, Gerber JM et al. 1994. Exposition aux chloramines dans les atmosphères des halls de piscines. INRS, Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, n°156 : 285-292.

HERY M, Dornier G, 2000. Le point des connaissances sur... chloramines dans les piscines et l'agroalimentaire. INRS

INRS, juillet 2016. Chloroforme M-374. 3 p.

INRS, juillet 2016. Trichlorure d'azote et autres composés chlorés M-104. 8 p.

INRS, octobre 2016. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-mémoire technique ED 984.

JACOBS JH, Spaan S, van Rooy G, Meliefste C, Zaat VAC, Rooyackers JM, et al. 2007. Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers. *Eur Respir J.* 29(4), pp. 690–8.

KIM H., Shim J., Lee S., January 2002, Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere*, volume 46, issue 1, pp. 123-130.

LAHL U, Batjer K, Duszeln Jv, Gabel B, Stachel B, Thiemann W. 1981. Distribution and balance of volatile halogenated hydrocarbons in the water and air of covered swimming pools using chlorine for water disinfection. *Water Res*; 15, pp. 803–14.

LE COSSEC C., Laurent AM., Person A., et al. janvier-mars 2016, Teneurs en trichloramine et trihalométhanes dans l'air ou l'eau des piscines publiques parisiennes et impact de différents procédés de traitement de l'eau des bassins. *Pollution Atmosphérique* n°228, 14 p.

MASSIN N, Bohadana AB, Wild P et al. 1998. Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, 55 : 258-263.

NICKMILDER M, Carbonnelle S, de Burbure C et al. 2003. Risques respiratoires de la désinfection des piscines par le chlore : études épidémiologiques et expérimentales. Rapport final, Bruxelles (Belgique). Convention IBGE/UCL n°747.

PARRAT J., 2008. Evaluation 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 du Santé au Travail – LIST.

PERSON A, Laurent AM, Le Moullec. 2005. Atmospheric exposure to chloramines in indoor swimming pools. *Pollution Atmosphérique*, n° spécial : 93-97.

RICHARDSON SD., DeMarini DM., Kogevinas M., et al. September 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*, 37 p.

THICKETT KM, McCoach JS, Gerber JM et al. 2002. Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air. *Eur Respir J*, 19 : 827-832

THOUMELIN P, Monin E, Armandet D et al. 2005. Troubles d'irritation respiratoire chez les travailleurs de piscines. INRS, Documents pour le Médecin du Travail, 101 : 43-64.

VOISIN C., Bernard A. 2008. Risques d'affections allergiques associés aux produits de chloration en piscine. Environnement, Risques et Santé ; 7(6), pp. 417-23.



RETROUVEZ TOUTES  
NOS **PUBLICATIONS** SUR :  
[www.atmonormandie.fr](http://www.atmonormandie.fr)

**Atmo Normandie**

3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN

Tél. : +33 2.35.07.94.30

Fax : +33 2.35.07.94.40

[contact@atmonormandie.fr](mailto:contact@atmonormandie.fr)

