

Evaluation de la qualité de l'air intérieur du complexe aquatique CASÉO de l'Agglomération Seine-Eure

2016/2017

Référence : Rapport n°1720.002

Diffusion : Octobre 2017

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), ... 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°1720-002

Le 3 octobre 2017

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

www.atmonormandie.fr

Résumé

En partenariat avec l'Agglomération Seine-Eure, ATMO Normandie a réalisé deux campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur dans le complexe aquatique CASÉO à Louviers. Il s'agit de campagnes exploratoires dont le but était d'évaluer la qualité de l'air intérieur au sein du nouveau complexe aquatique intercommunal HQE dans lequel la problématique de la qualité de l'air avait été prise en compte lors de la conception du bâtiment. Les polluants investigués étaient les chloramines ou les trihalométhanes. 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. Plusieurs points de prélèvement ont été échantillonnés pendant deux campagnes de mesures, une en période hivernale et l'autre en période estivale. Les résultats ont montré des dépassements de la « valeur limite » recommandée par l'ANSES en hiver.

Il est important de rappeler que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ne sont issus que de deux campagnes de mesures alors qu'il est établi que plusieurs paramètres ont une influence sur la qualité de l'air intérieur de ces microenvironnements particuliers, comme la fréquentation des bassins, la ventilation et le recyclage de l'air, l'ouverture des baies vitrées, l'hygiène des baigneurs. Il serait intéressant de continuer la surveillance de la qualité de l'air dans cet établissement pour suivre l'évolution des concentrations dans l'année en fonction des saisons et de la fréquentation des établissements et à distance de temps des périodes de vidange des bassins pour confirmer les résultats obtenus pendant la présente étude.

Sommaire

1. Introduction	6
2. Éléments nécessaires à la compréhension du document	6
2.1. Contexte	6
2.2. Composés dans l'air des piscines présentant des risques pour la santé.	8
2.2.1. Les chloramines	8
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	18
2.6. Méthodes	20
2.7. Origine des données	20
2.8. Limites	21
3. Déroulement	21
4. Résultats	27
4.1. Résultats bruts	27
4.2. Résultats transformés	27
4.2.1. Comparaison à titre indicatif des résultats par rapport aux valeurs de référence	27
5. Interprétation des résultats et discussion	30
6. Conclusion et recommandations	31
7. Bibliographie	32



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

HQE : Haute Qualité Environnementale

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 (PRSE II) et de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (2010-2016), Atmo Normandie développe des actions de sensibilisation sur le thème de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI). La réalisation d'un état des lieux de la qualité de l'air intérieur du complexe aquatique intercommunal de l'Agglomération Seine-Eure s'inscrit dans cette thématique.

De son côté, l'Agglomération Seine-Eure souhaite disposer d'un état des lieux de la qualité de l'air intérieur au sein de son nouveau complexe aquatique intercommunal HQE¹ lui permettant de définir des actions pour améliorer ou éviter de dégrader la qualité de l'air intérieur et également d'analyser ses choix vis-à-vis de la qualité de l'air. L'Agglomération Seine-Eure souhaite également porter à connaissance ce travail afin de promouvoir d'autres initiatives de ce type.

C'est dans ce contexte et devant leurs intérêts convergents que l'Agglomération Seine-Eure et Atmo Normandie ont décidé de mettre en œuvre deux campagnes de mesures dans le complexe aquatique intercommunal Caséo en période hivernale et estivale.

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'Agglomération Seine-Eure. Il est ensuite rendu disponible sur le site 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

¹ Conçu selon une démarche de Haute Qualité Environnementale

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 Kjeldahl²
- 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 du 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) (Hénry et al. 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 (Hénry 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

² L'azote Kjeldahl est une appellation qui désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique

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 atopiques³ 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, NCl_3 , mono- et dichloramines)
- les trihalométhanes (THM) : chloroforme (CHCl_3), dichlorobromoforme (CHCl_2Br), chlorodibromoforme (CHClBr_2) et bromoforme (CHBr_3), (Bessonneau et al., 2011, Guillam et al., 2007)

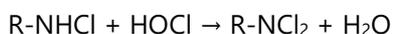
2.2.1. Les chloramines

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) :

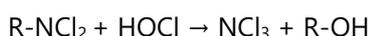
³ Prédéposé génétiquement à développer des allergies communes comme la conjonctivite, l'eczéma ou le rhume des foies



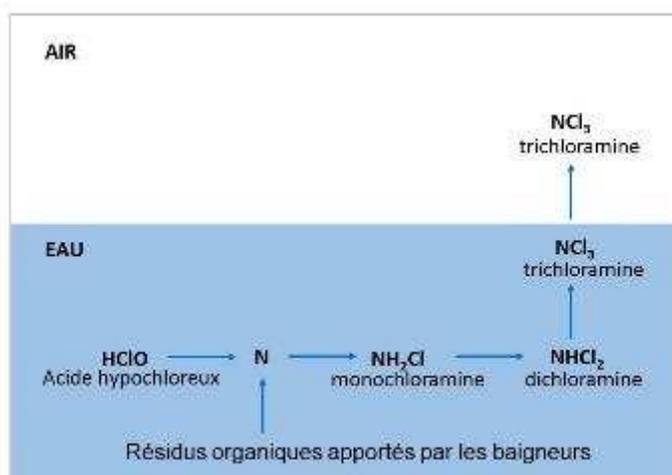
monochloramine :
pas d'odeur, irritante
(eau)



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

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 génotoxicité⁴ et la mutagénicité⁵ de la trichloramine n'est mentionnée dans la littérature. De même aucune donnée relative à la toxicité sur la reproduction et la tératogénicité⁶ de la trichloramine n'est mentionnée dans la littérature (Anses, 2012).

⁴ Capacité d'un agent à altérer le génome d'êtres vivants

⁵ Capacité d'un agent à provoquer des mutations

⁶ Capacité d'un agent à provoquer des malformations et/ou des troubles du développement dans la descendance d'organismes vivants

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/m³**, (Hény, 1994), reprise par l'OMS en 2006
- Valeur limite court terme (VLCT-15min contraignante) : **1,5 mg/m³** (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/m³**.

La valeur limite de « confort » de 0,5 mg/m³ 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/m³. La valeur de 0,7 mg/m³ 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/m³ proposée initialement par l'INRS pourrait être abaissée à 0,3 mg/m³ suite aux résultats obtenus.

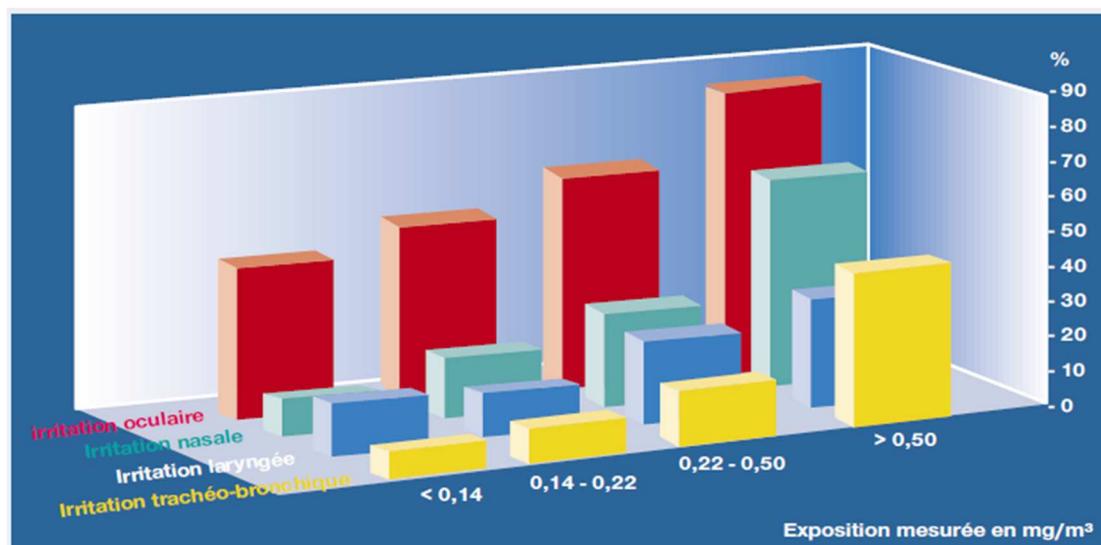


Figure 2 : Prévalence des signes d'irritation selon le niveau d'exposition au trichlorure d'azote mesurée (Héry, 2000)

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).

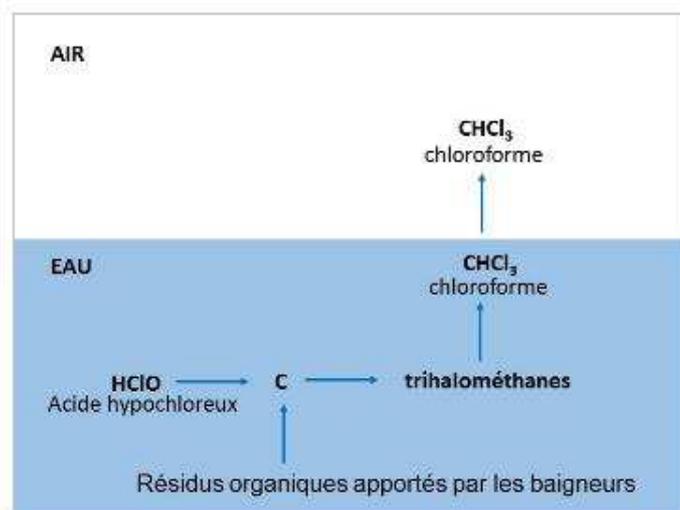


Figure 3 : Réactions chimiques formant le chloroforme dans les piscines désinfectées par le chlore, (Voisin, 2008, Carbonelle, 2003).

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 CIRC⁷ dans le groupe 2B (« substance pouvant être cancérogène pour l'homme ») et par l'US-EPA⁸ dans la catégorie B2 (« cancérogène 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

⁷ Centre International de Recherche sur le Cancer

⁸ United States Environmental Protection Agency

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 larmolement 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 cancérogénicité pour l'homme ») par le CIRC et B2 (« cancérogène probable pour l'homme ») par l'US EPA.

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

Le dibromochlorométhane est classé 3 (« substance inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme ») par le CIRC, mais C (« cancérogène 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 cancérogène 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).

Valeurs de référence :

Chloroforme

L'INRS préconise :

- Valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h contraignante dans l'air) de **10 mg/m³** (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 cancérogènes par voie inhalée pour le tétrachlorure de carbone, le chloroforme et le 1,2-dichloroéthane » propose une valeur toxicologique de référence à seuil, VTR cancérogène de **0,063 mg/m³**. Il s'agit d'un risque cancérogène 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/m³**

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_3), les projections d'eau peuvent introduire dans le système de prélèvement des ions chlorures qui seront ensuite dosés et quantifiés ce qui entraînera 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_3 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 le 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 baignoires bouillonnantes, 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 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 est 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 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 ³]	Chloroforme [mg/m ³]
Héry, 1994 France	13 piscines	Chlore gazeux ou eau de javel	309 Différents sites sur les postes de travail des maîtres-nageurs	Moy : < 0.05 à 1.25 Max : 0.21 à 1.92	Moy : < 0.005 à 0.21 Max : 0.05 à 0.36
Aggazzotti, 1995 Italie	12 piscines	np*	88 Hauteur/eau : 1.5m	nm**	Moy : 0.048 à 0.460 Max : 0.052 à 0.853
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 : 0.24±0.17 CLA : 0.67±0.37	nm
Fantuzzi, 2001 Italie	5 piscines publiques en 1998	np	Hall de piscine : 5 Réception : 5 Atelier de maintenance : 5	nm	Hall de piscine : 0.046±0.019 Réception : 0.022±0.019 Atelier de maintenance : 0.022±0.023
Thickett, 2002 Royaume-Uni	3 piscines	Eau de javel	15 Hauteur/sol : 1 m	Petit bassin : 0.23-0.57 Grand bassin : 0.1-0.31	nm
Nickmilder, 2003 Belgique	3 piscines	chlore	np	Moy : 0.17-0.54 Petit bassin : 0.37-0.43 Grand bassin : 0.25-0.35	nm

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m ³]	Chloroforme [mg/m ³]
Charlier, 2003 Belgique	4 piscines	Chlore gazeux, eau de javel	32 par hauteur Hauteur/eau : 25cm, 50cm, 150cm	A 25cm : 0.44 (0.31-0.56) A 50cm : 0.4 (0.22-0.53) A 150cm : 0.34 (0.21-0.39)	A 50 cm : 0.005 à 0.170
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 : 0.26 Min-max : 0.083-0.66	nm
Thoumelin, 2005 France	28 piscines	np	262 Hauteur/eau : 150cm, 1-3m des bassins	Moy : 0.225 (0.08-0.57) 2moy > 0.50 Max : 0.36 (0.13-0.75) 6 valeurs > 0.50	nm
Jacobs, 2007 Pays Bas	38 piscines	Eau de javel, ozone, électrolyse	119 Hauteur/sol : 30-040cm et 150cm	<u>Bassins de loisir</u> : 0.54±0.27 Min-max : 0.13-1.34 <u>Bassins de compétition</u> : 0.59±0.23 Min-max : 0.16-1.28 <u>à 30cm</u> : 0.56±0.27 Min-max : 0.13-1.34 <u>à 150cm</u> : 0.57±0.24 Min-max : 0.14-1.27	nm
Richardson, 2010 Espagne	2 piscines	Chlore	Pour THM : 68 Pour chloramines : 6 Hauteur/sol :	0.29±0.10 min-max : 0.17-0.43	0.032±0.0119 min-max : 0.012-0.062

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m ³]	Chloroforme [mg/m ³]
			60cm 1.5m des bassins		
Bessonneau, 2011 France	15 Eté/hiver, matin/après- midi	Eau de javel, hypochlorite de calcium, chlore gazeux	np Hauteur/sol : 25cm et 150cm	0.189 min-max : 0.0212-0.775	0.0641 Min-max : 0.00035-0.645
Le Cossec, 2016 France	47	Chlore, UV, charbon actif, ozone	Pour chloramines : 812 Pour THM : 381 Hauteur/sol : 150cm	0.183±0.113 min-max : 0.01- 1.150	0.051±0.054 min-max : <LD-0.641
Quelques résultats enregistrés par les AASQA					
Air Breizh, 2007	1	chlore	4 Hauteur/eau : 150cm et 80cm	à 150cm : 0.15-0.17 à 80cm : 0.10-0.17	
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 : <0.277 Après-midi : 0.311 <u>Novembre</u> : Matin : 0.531 Après-midi : 0.468	Avril : Matin : 0.092 Après-midi : 0.104 Novembre : Matin : 0.113 Après-midi : 0.0728
Atmos'air Bourgogne, 2014	4	Chlore avec ou sans déchloraminateur	Pour chloramines : 14 Pour THM : 14 Hauteur/eau : 180cm	Moy : 0.18-0.61 Min : 0.12-0.57 Max : 0.24-0.65	Moy : 0.03-0.17 Min : <0.03- 0.16 Max : 0.05-0.19

*np : non précisé, **nm : non mesuré

2.4. Approche choisie

Afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur dans le complexe aquatique CASÉO, deux campagnes de mesures ont été réalisées, une en été et l'autre en hiver, en mettant en œuvre des prélèvements actifs (c'est-à-dire par pompage). Les polluants mesurés étaient ceux majoritairement rencontrés dans les halls des piscines à savoir les chloramines et les trihalométhanes. Les prélèvements ont ciblé d'une part l'exposition des maîtres-nageurs et d'autre part, des activités spécifiques : aquagym, cours des groupes scolaires, bain bouillonnant afin d'évaluer l'exposition des maîtres-nageurs et l'exposition du grand public avec un brassage d'eau important.

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

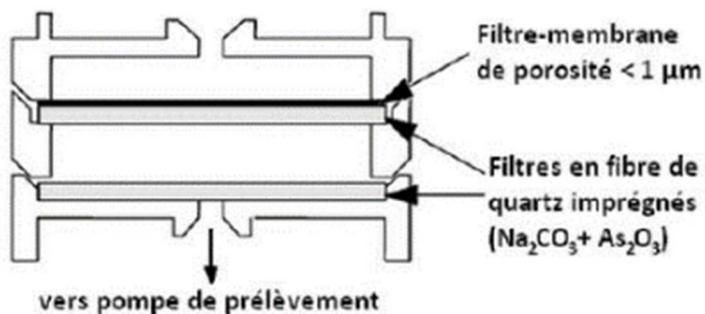
Pompe de prélèvement GilAir Plus avec son tuyau souple de connexion pompe-échantillonneur et un système de double prélèvement pour la mesure simultanée sur cassette et sur tube



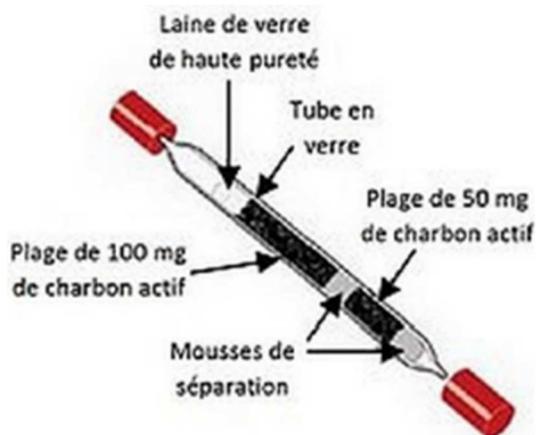
Support pour assurer une hauteur minimum de prélèvement et éviter les projections d'eau sur les pompes.



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



Tubes en verre contenant du charbon actif pour la mesure des trihalométhanes



Sonde d'humidité et de température Ebro,
EBI 20



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. Ce laboratoire est accrédité pour l'analyse du chloroforme dans l'air des piscines.

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 via un questionnaire 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. 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 peut également influencer les concentrations des polluants en air intérieur. Ensuite, la production des chloramines et des THM est corrélée avec le nombre de baigneurs. Une faible fréquentation de l'établissement peut entraîner une sous-estimation des concentrations.

Deux campagnes de mesures ont eu lieu au centre aquatique CASÉO. De ce fait, les résultats de ces deux campagnes de mesures sont représentatifs des périodes durant laquelle les prélèvements ont été effectués. Cependant, comme les campagnes de mesures ont eu lieu pendant deux saisons distinctes, une en période hivernale, et l'autre en période estivale on peut supposer que les fluctuations liées aux saisons ont été correctement prises en considération. Notamment, le risque d'exposition à des concentrations importantes du fait des concentrations plus élevées enregistrées en hiver a été correctement pris en compte (% de l'air recyclé plus fort, fermetures des baies vitrées, ...). Par contre, les prélèvements n'ont pas toujours été effectués pendant les périodes de fréquentation maximale ce qui peut conduire à une sous-estimation des concentrations par rapport à une période fortement fréquentée.

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 au complexe aquatique CASÉO à Louviers (département de l'Eure).

❖ Le complexe aquatique CASÉO comporte :

Un bassin extérieur 50x15m, un bassin intérieur 25x21m, un bassin ludique (jeux d'eau), un bassin détente (becs de cygne et banquette à bulles), un bassin d'apprentissage/aquafitness, un bain bouillonnant, une pataugeoire (jeux d'eau), une réception toboggan

Traitement d'eau : UV, filtration billes de verre, chlore gazeux

Activités spécifiques : groupes scolaires, bébés nageurs, cours de natation, cours femmes enceintes, cours d'aquagym, cours de plongée



Deux campagnes de mesures ont été réalisées : une en période estivale et l'autre en période hivernale. Les dates de campagnes, les paramètres mesurés et le nombre des points de prélèvement sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Complexe aquatique CASÉO	Date de campagne	Paramètres mesurés	Durée et débit de prélèvement	Nombre des points de prélèvement
Campagne estivale	13 septembre 2016	THM	8h00, 100 ml/min	5
		Chloramines	8h00, 1000 ml/min	5
		Température, Humidité	8h00	5
Campagne hivernale	18 janvier 2017	THM	2h00, 200 ml/min	4
			8h00, 100 ml/min	1
		Chloramines	2h00 1000 ml/min	4
			8h00 1000 ml/min	1
		Température, Humidité	8h00	2

Pendant la campagne estivale les prélèvements des THM et des chloramines ont été effectués au niveau des 5 points suivants :

- **N°1 au niveau du bassin de natation intérieur**, à mi longueur, en présence des groupes scolaires, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs



- **N°2 au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness**, pendant le cours de natation pour les enfants, l'aquabiking, les cours d'aquafitness, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs,



- **N°3 au niveau du bassin ludique**, en présence des enfants, jeux d'eau, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs



- **N°4 au niveau de la pataugeoire**, en présence des quelques enfants, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs



- **N°5 au niveau du bain bouillonnant**, grand public, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs



Pendant la campagne hivernale les prélèvements des THM et des chloramines ont été effectués en 5 points suivants :

- **N°A au niveau du bassin ludique**, en présence des enfants, jeux d'eau, hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 8h, objectif : suivi de l'exposition des maîtres-nageurs



- **N°B au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness**, pendant les cours d'aquafitness (environ 20/20/10 personnes), hauteur de prélèvement : 1,5 m, durée de prélèvement : 2h, matin, objectif : suivi de l'exposition du grand public lors d'un brassage d'eau important,



- **N°Bbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness**, pendant les cours d'aquafitness (environ 20/20/10 personnes), hauteur de prélèvement : 0,3 m, durée de prélèvement : 2h, matin, objectif : suivi de l'exposition du grand public lors d'un brassage d'eau important,



- **N°C au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness,**
pendant les cours de natation pour les enfants (environ 10 personnes),
hauteur de prélèvement : 1,5 m,
durée de prélèvement : 2h, après-midi, objectif : suivi de l'exposition des enfants,



- **N°Cbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness,**
pendant les cours de natation pour les enfants (environ 10 personnes),
hauteur de prélèvement : 0,3 m,
durée de prélèvement : 2h, après-midi, objectif : suivi de l'exposition des enfants,



Le plan avec les emplacements des points de prélèvement dans la piscine CASÉO pendant la campagne estivale et hivernale est présenté sur la Figure 4. Pendant la campagne estivale, les mesures ont été effectuées à la hauteur de 1,5 m, pendant 8 heures et ciblées l'exposition longue durée du personnel de surveillance de baignade (points de 1 à 5). Pendant la campagne hivernale, les prélèvements ont été effectués à différentes hauteurs 1,5 m (point A, B, C) et 0,3 m (Bbis, Cbis) et pour 2 durées d'exposition à savoir pendant 8 heures (point A) ou 2 heures (points : B, Bbis, C, Cbis), afin de cibler d'une part l'exposition du personnel de surveillance de baignade et d'autre part l'exposition du grand public et des groupes scolaires pendant les activités de baignade.

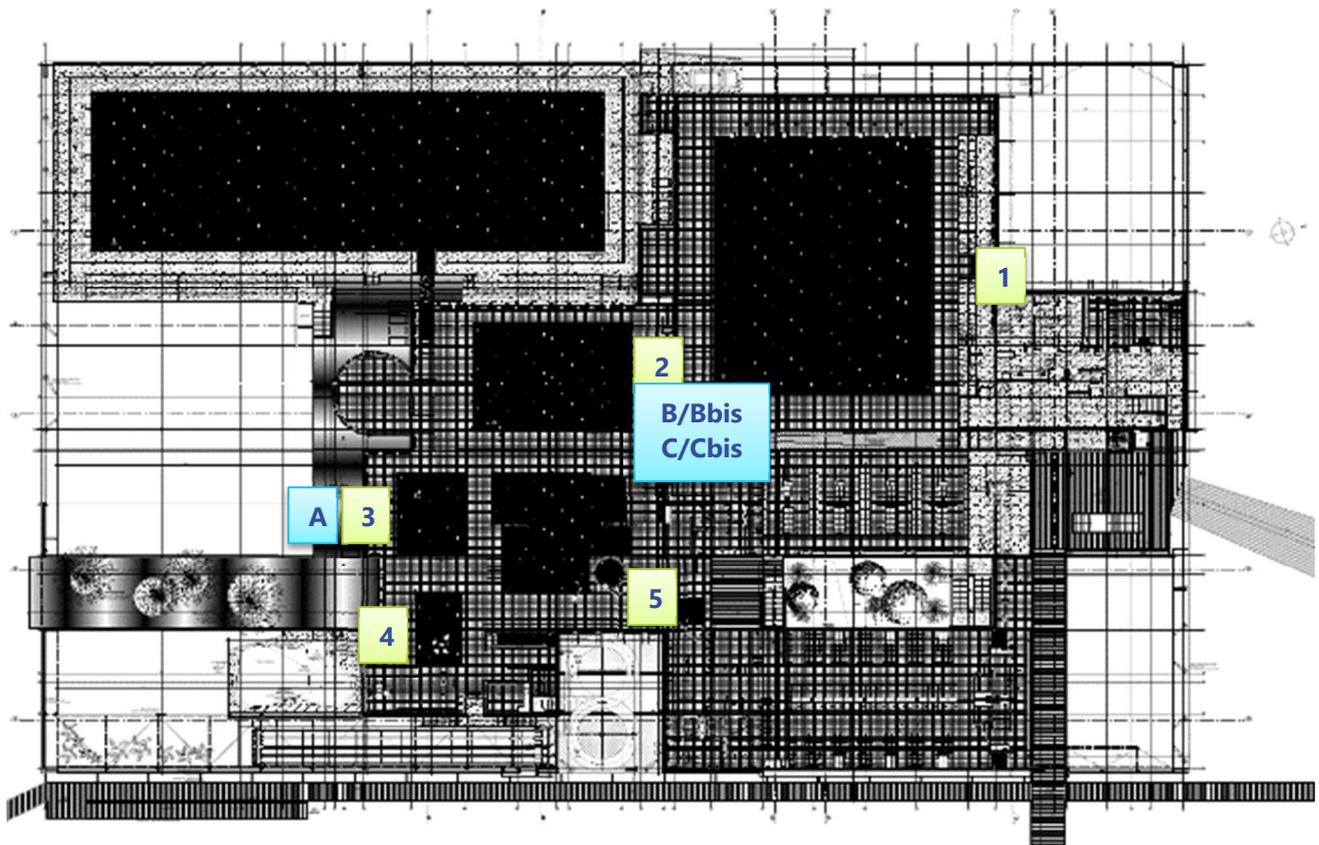


Figure 4 : Emplacement des points de prélèvement dans le complexe aquatique CASÉO (en vert campagne estivale et en bleu campagne hivernale).

Avant la réalisation des campagnes de mesures, ATMO Normandie a effectué une visite de la piscine pour définir les points de prélèvement et pour prendre connaissance des systèmes de traitement d'eau, des systèmes de ventilation mis en place et pour questionner l'exploitant sur les activités et les fréquentations des bassins. Ces informations ont ensuite permis de définir la période la plus propice pour le prélèvement. Par ailleurs, au préalable ATMO Normandie a envoyé à l'exploitant de la piscine un questionnaire élaboré par ATMO Normandie permettant notamment de recueillir des informations pouvant être utiles à l'interprétation des résultats. Ce questionnaire a été retourné rempli à ATMO Normandie avant la réalisation des campagnes de mesure.

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 3.

Tableau 3 : Conditions de température et d'hygrométrie relevées lors des campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur du complexe aquatique CASÉO

Campagne et point de prélèvement	Hygrométrie [%]	Température de l'air [°C]
Campagne estivale :		
○ N°1 au niveau du bassin de natation intérieur	60	28
○ N°2 au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness	63	28
○ N°3 au niveau du bassin ludique	60	29
○ N°4 au niveau de la patageoire	58	28
○ N°5 au niveau du bain bouillonnant	69	28
Campagne hivernale :		
○ N°A au niveau du bassin ludique, H=1,50m	60	29
○ N°B au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, matin	69	24
○ N°Bbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,30m, matin	69	24
○ N°C au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, après-midi	67	25
○ N°C au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,3m, après-midi	67	25

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.

4. Résultats

4.1. Résultats bruts

Les résultats bruts des mesures des trihalométhanes et des chloramines sont disponibles sur demande auprès d'ATMO Normandie (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 5 et Tableau 6. Ils sont comparés à certaines valeurs françaises de référence.

Les résultats des 4 THM recherchés (le chloroforme, le bromoforme, le dichlorobromométhane et le dibromochlorométhane) sont tous inférieurs à la limite de quantification du laboratoire aussi bien pendant la campagne estivale qu'hivernale.

Tableau 4 : Résultats de mesures des trihalométhanes dans le complexe aquatique CASÉO et comparaisons avec les valeurs de référence

Point de prélèvement	Chloroforme mg/m ³	Bromoforme mg/m ³	Dichlorobromométhane mg/m ³	Dibromochlorométhane mg/m ³
VLEP-8h	10	5	-	-
Campagne estivale				
N°1 au niveau du bassin de natation intérieur	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°2 au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°3 au niveau du bassin ludique	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°4 au niveau de la pataugeoire	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°5 au niveau du bain bouillonnant	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Campagne hivernale				
N°A au niveau du bassin ludique	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°B au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, matin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°Bbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,3m, matin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°C au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, après-midi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°Cbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,3m, après-midi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Les concentrations des chloramines pendant la campagne estivale varient entre 0,06 µg/m³ au niveau du bassin de natation intérieur et 0,13 µg/m³ au niveau du bain bouillonnant. Elles sont tous largement inférieures à la valeur limite de 0,3 µg/m³ recommandée par l'ANSES. Pour tous les points de prélèvement il s'agit de l'exposition de 8 heures.

Pendant la campagne hivernale les concentrations en chloramines sont plus élevées et elles dépassent toutes, la valeur limite de 0,3 µg/m³ recommandée par l'ANSES. La concentration sur le point d'exposition de 8

heures, au niveau du bassin ludique était de 0,43 µg/m³, contre 0,1 µg/m³ en été. Le matin, pendant les cours d'aquagym au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, les concentrations en chloramines variaient entre 0,37 µg/m³ à la hauteur de 0,3 m par rapport à la surface de l'eau et 0,49 µg/m³ à la hauteur de 1,5 m. Les échantillons ont été exposés pendant 2 heures. L'après-midi au même endroit, pendant le cours de natation pour une dizaine d'enfants les concentrations étaient homogènes aux deux niveaux de mesure et avoisinaient 0,4 µg/m³.

Tableau 5 : Résultats de mesures des chloramines dans le complexe aquatique CASÉO et comparaisons avec les valeurs de référence

Point de prélèvement	Chloramines en eq NCl₃ mg/m³
Valeur limite de « confort » (INRS)	0,5
Valeur limite (Recommandation ANSES)	0,3
VLCT-15min contraignante	1,5
Campagne estivale	
N°1 au niveau du bassin de natation intérieur	0,06
N°2 au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness	0,09
N°3 au niveau du bassin ludique	0,10
N°4 au niveau de la pataugeoire	0,07
N°5 au niveau du bain bouillonnant	0,13
Campagne hivernale	
N°A au niveau du bassin ludique	0,43
N°B au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, matin	0,49
N°Bbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,3m, matin	0,37
N°C au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=1,50m, après-midi	0,39
N°Cbis au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, H=0,3m, après-midi	0,40

5. Interprétation des résultats et discussion

Pendant les deux campagnes de mesures au complexe aquatique CASÉO, les concentrations en trihalométhanes étaient toujours inférieures à la limite de quantification du laboratoire. Il ne semble pas y avoir de problème en ce qui concerne ces polluants dans l'air.

En ce qui concerne les chloramines, les concentrations les plus fortes ont été enregistrées en hiver avec des dépassements de la valeur limite recommandée par l'ANSES et cela malgré une fréquentation plus faible que pendant la campagne estivale : 640 baigneurs pendant la campagne hivernale contre 1135 baigneurs pendant la campagne estivale. Souvent en hiver l'aération des halls de piscines est moindre et le pourcentage d'air recyclé est plus important ce qui peut influencer sur la qualité de l'air intérieur. L'aération par les baies vitrées peut aussi avoir un impact sur les concentrations des polluants en air intérieur. A CASÉO l'ouverture des baies vitrées ne se fait qu'à l'appréciation des maîtres-nageurs en fonction de leur ressenti et plutôt en été. Cependant, ne souhaitant pas interférer sur les résultats, les maîtres-nageurs n'avaient a priori pas ouvert les baies le jour de la campagne estivale. Il est possible que les faibles concentrations en chloramines en été soient liées au fait que la campagne de mesures a été réalisée juste après la vidange des bassins qui a eu lieu entre le 1^{er} et le 10 septembre.

Compte tenu des faibles concentrations en chloramines enregistrées pendant la campagne estivale sur les 5 points de prélèvement de 8 heures, il a été décidé de réorganiser la campagne hivernale : ainsi un point a été conservé pour suivre l'une exposition longue durée (maîtres-nageurs) mais sur les autres points l'objectif était d'évaluer l'exposition du public (prélèvement de 2 heures) lors de la fréquentation des bassins. Pour cela, lors de la campagne hivernale sur un point de prélèvement au niveau du bassin d'apprentissage/aquafitness, les mesures ont été effectuées à deux hauteurs différentes, 0,3 m et 1,5 m et pendant deux activités distinctes : le cours d'aquagym (matin) et le cours de natation pour les enfants (après-midi). L'objectif était d'évaluer d'une part l'exposition du grand public et des enfants scolarisés et d'autre part l'exposition ponctuelle du personnel de surveillance de baignade. Les résultats de ces mesures indiquent le dépassement de la valeur limite recommandée par l'ANSES. Les concentrations en chloramines semblent légèrement plus élevées pendant le cours d'aquagym que pendant le cours de natation pour les enfants. Cela est probablement lié, d'une part, au brassage d'eau plus important pendant le cours d'aquagym et d'autre part du fait du nombre de personnes plus important lors des cours d'aquagym. En effet, pendant le prélèvement du matin il y avait 3 cours d'aquagym avec respectivement 20, 20 et 10 personnes. L'après-midi, pendant le cours de natation, il y avait seulement une dizaine d'enfants. Même si cette activité était plus calme, il est possible que les concentrations mesurées l'après-midi puissent être aussi influencées par l'accumulation des concentrations depuis le matin.

La différence entre les prélèvements à la hauteur de 0,3 m et 1,5 m est plus marquée le matin pendant les cours d'aquagym que pendant le cours de natation pour les enfants. L'échantillon est trop faible pour pouvoir conclure sur l'influence de la hauteur de prélèvement sur la concentration des polluants, mais pendant cette campagne la concentration la plus forte a été mesurée le matin pendant le cours d'aquagym à la hauteur de 1,5 m.

6. Conclusion et recommandations

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'air intérieur du complexe aquatique CASÉO des mesures de chloramines et de trihalométhanes ont été réalisées pendant deux campagnes de mesures, une en été et l'autre en hiver.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- aucun des trihalométhanes mesuré n'a été détecté pendant les deux campagnes de mesures ce qui indique des concentrations faibles pendant la période de prélèvement. Il ne semble pas y avoir de problème en ce qui concerne ces polluants dans l'air. Néanmoins il serait intéressant de confirmer ces faibles valeurs pendant une période de fréquentation maximale.
- les concentrations en chloramines mesurées en été ne dépassent pas la valeur limite recommandée par l'ANSES.
- en hiver les concentrations en chloramines sur tous les points de mesures ont dépassé la valeur limite recommandée par l'ANSES, aussi bien pour l'exposition longue durée (8 heures) que courte durée (2 heures). Les plus fortes concentrations ont été enregistrées pendant les cours d'aquagym caractérisés par un brassage d'eau important.
- Compte tenu des résultats de ces prélèvements ponctuels, les éventuels risques de gêne et d'irritation des voies respiratoires et des yeux dus à la présence de chloramines ne peuvent pas être écartés pour les utilisateurs et les salariés du site surtout en hiver d'autant plus que les prélèvements n'ont pas été effectués pendant une période de fréquentation maximale.

Il est important de rappeler que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ne sont issus que de deux campagnes de mesures alors qu'il est établi que plusieurs paramètres ont une influence sur la qualité de l'air intérieur de ces microenvironnements particuliers, comme la fréquentation des bassins, la ventilation et le recyclage de l'air, l'ouverture des baies vitrées, l'hygiène de baigneurs. Il serait intéressant de continuer la surveillance de la qualité de l'air dans cet établissement pour pouvoir suivre l'évolution des concentrations dans l'année en fonction des saisons et de la fréquentation des établissements et à distance de temps des périodes de vidange des bassins pour confirmer les résultats obtenus pendant la présente étude.

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 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

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

