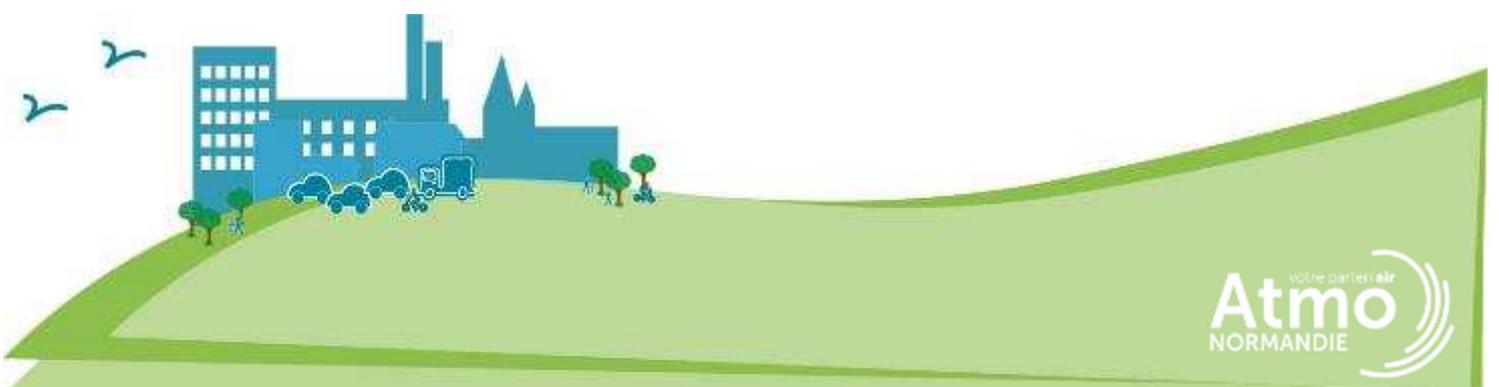




Evaluation de la qualité de l'air intérieur de 3 établissements aquatiques en Normandie

2016/2017



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°1720-004
Le 3 octobre 2017,

Le rédacteur,

Marta DOMINIK-SEGUE

Le Responsable du pôle
Campagnes de mesure et exploitation des données,

Sébastien LE MEUR

Résumé

En partenariat avec l'Agence Régionale de Santé, ATMO Normandie a réalisé des campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur dans 3 établissements aquatiques de Normandie. Il s'agit de campagnes exploratoires dont le but était d'évaluer la qualité de l'air intérieur de 3 piscines où un problème de qualité de l'eau a été détecté au préalable par l'ARS et faire prendre conscience aux gestionnaires de ces établissements du risque pour la santé des baigneurs. Les polluants investigués étaient les chloramines pour l'un des établissements et les trihalométhanes (THM) pour les deux autres. 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 dans chaque établissement pendant une campagne de mesures en période hivernale. Les chloramines mesurés dans un établissement montrent des résultats supérieurs à la valeur limite recommandée par l'ANSES. En ce qui concerne les THM, alors qu'aucun composé n'a été détecté dans un centre aquatique, les valeurs de chloroforme mesurées dans l'autre établissement ciblé, apparaissent en revanche élevées au regard des concentrations rapportées dans les études diverses. Il est important de rappeler que ces résultats sont issus d'une seule campagne de mesures dans chaque établissement aquatique dans des conditions plutôt favorables à l'accumulation des chloramines et des THM dans l'air (période hivernale) mais pas toujours durant une période de fréquentation importante et/ou une activité générant un fort brassage de l'eau de la piscine. Or il est établi que les concentrations de ces composés peuvent fluctuer au cours de l'année voire au cours d'une même journée sous l'influence de plusieurs paramètres en particulier : 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 ces établissements pour pouvoir prendre en compte l'évolution des concentrations courant de l'année en fonction de la saison et de la fréquentation des établissements. Il serait également intéressant de réaliser des mesures complémentaires en collaboration avec les exploitants qui souhaitent s'engager pour tester des actions susceptibles d'améliorer la qualité de l'air intérieur et ainsi vérifier leur efficacité.

Par ailleurs, pendant l'une des campagnes de mesure, un test de comparaison entre la méthode décrite dans la fiche INRS (appliquée par Atmo Normandie) et une méthode alternative, la valise « Triklorame », brevetée par l'INRS (appliquée par l'ARS) a été effectué. L'échantillon est trop faible pour pouvoir conclure sur l'homogénéité des résultats. Néanmoins pour deux des trois sites investigués, les résultats présentent des écarts pour les concentrations les plus fortes enregistrées avec la valise « Triklorame » pour lesquels des hypothèses ont été avancées.

SOMMAIRE

1.	Sigles, symboles et abréviations	4
2.	Introduction	5
3.	Éléments nécessaires à la compréhension du document	5
3.1.	Contexte	5
3.2.	Composés dans l'air des piscines présentant des risques pour la santé.....	7
3.2.1.	Les chloramines	7
3.2.2.	Les trihalométhanes	9
3.3.	Niveaux de pollution dans l'air des piscines – étude bibliographique	11
3.4.	Approche choisie.....	15
3.5.	Matériel.....	16
3.6.	Méthode	17
3.7.	Origine des données	17
3.8.	Limites.....	18
4.	Déroulement.....	18
5.	Résultats.....	27
5.1.	Résultats bruts	27
5.2.	Résultats transformés.....	27
5.2.1.	Comparaison à titre indicatif des résultats par rapport aux valeurs de référence	27
5.2.2.	Comparaison avec les résultats obtenus avec la valise « Triklorame ».....	29
6.	Interprétation des résultats et discussion	30
7.	Conclusion et recommandations	32
8.	Pages complémentaires.....	33
8.1.	Bibliographie	33

1. 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

QAI : Qualité de l'Air Intérieur

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

2. Introduction

Dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement II et de son Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (2010-2016), 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 de l'Eure et de Seine-Maritime identifiés par l'ARS, s'inscrit dans cette thématique.

De son côté, l'ARS souhaite :

- disposer d'une méthodologie précise concernant l'étude de la qualité de l'air dans ce type d'environnement particulier,
- disposer d'une évaluation de la qualité de l'air dans des piscines (centres aquatiques) ciblées en vue de faire prendre conscience au gestionnaire de l'établissement du risque pour la santé des personnes fréquentant la piscine,
- 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'ARS et ATMO Normandie ont décidé de mettre en œuvre des campagnes de mesures afin d'évaluer la qualité de l'air dans certains établissements aquatiques de l'Eure et de Seine-Maritime.

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. Il est ensuite rendu disponible sur le site www.atmonormandie.fr pour tout public intéressé.

3. Eléments nécessaires à la compréhension du document

3.1. 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 Kjeldahl¹
- 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) (Hénoy *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 (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 atopiques² 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

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

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

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.

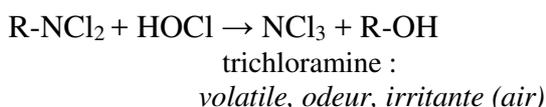
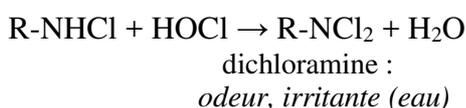
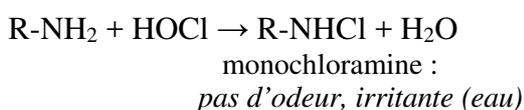
3.2. Composés dans l'air des piscines présentant des risques pour la santé.

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)

3.2.1. 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) :



R représente un radical hydrocarboné

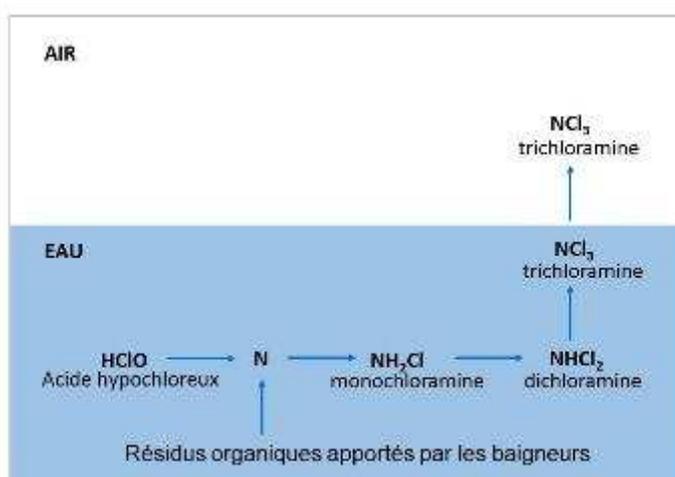


Figure 1 : Description des réactions chimiques formant les chloramines dans les piscines désinfectées par le chlore

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 (Hénoy *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 génotoxicité³ et la mutagénicité⁴ de la trichloramine n'est mentionnée dans la littérature. De même aucune donnée relative à la toxicité sur la reproduction et la tératogénicité⁵ 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/m³**, (Hénerly, 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.

³ Capacité d'un agent à altérer le génome d'êtres vivants

⁴ Capacité d'un agent à provoquer des mutations

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

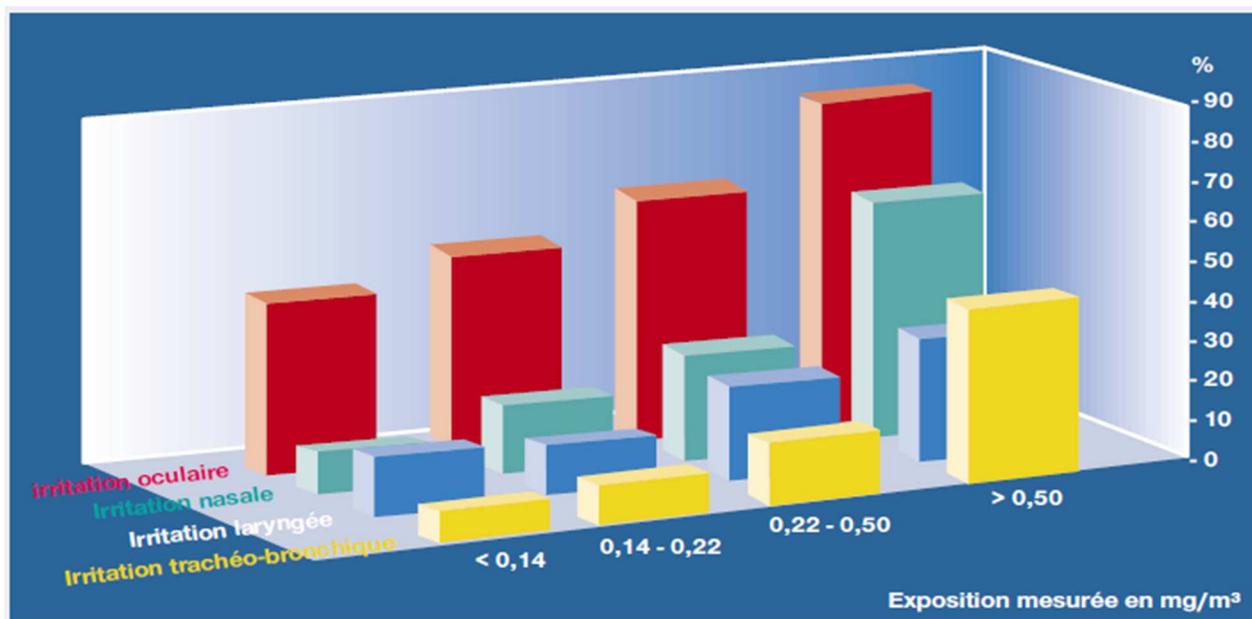


Figure 2 : Prévalence des signes d'irritation selon le niveau d'exposition au trichlorure d'azote mesurée (Héry, 2000)

3.2.2. 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).

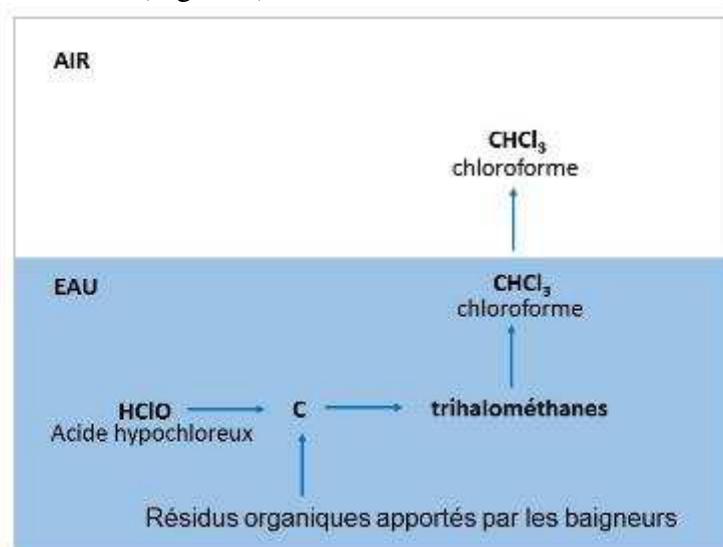


Figure 3 : Réactions chimiques formant le chloroforme dans les piscines désinfectées par le chlore, (Voisin, 2008, Carbonelle, 2003).

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 CIRC⁶ dans le groupe 2B (« substance pouvant être cancérigène pour l'homme ») et par l'US-EPA⁷ 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 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 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 risque 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).

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 cancérigènes par voie inhalée pour le tétrachlorure de carbone, le chloroforme et le 1,2-dichloroéthane » propose

⁶ Centre International de Recherche sur le Cancer

⁷ United States Environmental Protection Agency

une valeur toxicologique de référence à seuil, VTR cancérogène de **0,063 mg/m³**. 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/m³**

3.3. 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 (NCl₃), 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 NCl₃ 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 mg/m³) 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 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 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

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m ³]	Chloroforme [mg/m ³]
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
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

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m ³]	Chloroforme [mg/m ³]
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 : 60cm 1.5m des bassins	0.29±0.10 min-max : 0.17-0.43	0.032±0.0119 min-max : 0.012-0.062
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

Etude - Référence	Contexte	Traitement d'eau	Echantillonnage	Trichloramine [mg/m ³]	Chloroforme [mg/m ³]
Quelques résultats enregistrés par les AASQA					
Air Breizh, 2007	1	chllore	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 ^o 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

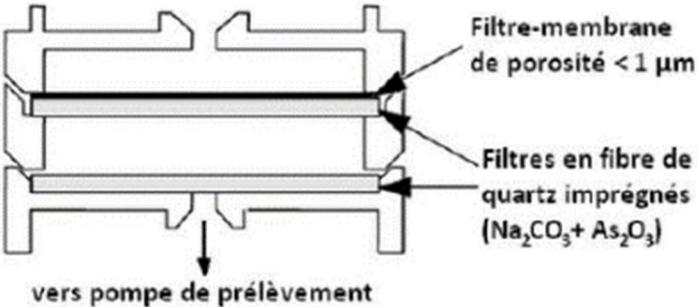
3.4. Approche choisie

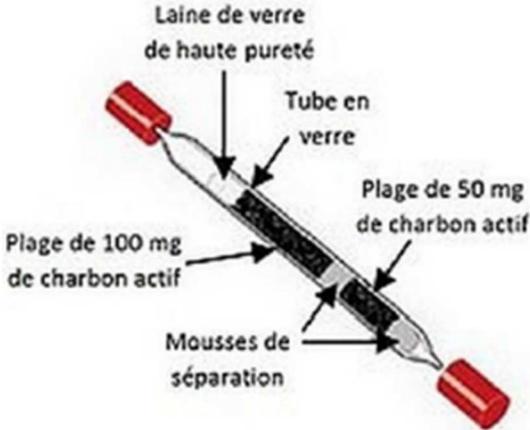
Afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur dans les piscines couvertes, les campagnes de mesures ont été réalisées en mettant en œuvre des prélèvements actifs (c'est-à-dire par pompage). Les polluants mesurés étaient ceux majoritairement rencontrés dans les halls des piscines à savoir les chloramines et les trihalométhanes. Les mesures ont été réalisées dans trois centres aquatiques de la Normandie ciblés par l'Agence Régionale de Santé où une problématique de chloramines ou de trihalométhanes dans l'eau ou/et dans l'air a déjà été identifiée. Les prélèvements ont ciblé des activités spécifiques : aquagym, cours des groupes scolaires afin d'évaluer d'une part l'exposition des jeunes enfants et d'autres part l'exposition du grand public avec un brassage d'eau important.

3.5. 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 le tuyau souple de connexion pompe-échantillonneur</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>	

3.6. Méthode

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 systématiquement.

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.

3.7. 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 trois campagnes de mesures. Ces données de mesures sont complétées par des informations fournies par les exploitants des piscines 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.

3.8. Limites

Une campagne de mesures a eu lieu dans chaque établissement aquatique en hiver 2016/2017. Or, 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. De ce fait, les résultats de ces trois campagnes de mesures sont représentatifs de la période durant laquelle les prélèvements ont été effectués. Cependant, comme les campagnes de mesures ont eu lieu pendant une période hivernale, on peut supposer que le risque d'exposition à des concentrations importantes du fait des concentrations plus élevées enregistrées en hiver a été correctement pris en considération (% de l'air recyclé plus fort, fermetures des baies vitrées, ...). Par contre, selon les établissements les prélèvements n'ont pas été toujours 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.

4. Déroulement

Les mesures de la qualité de l'air intérieur ont été réalisées dans 3 piscines de la Normandie, sélectionnées au préalable par l'ARS. Il s'agit du centre aquatique Le Carré de Dieppe⁸ (Seine-Maritime), de la piscine de Breteuil (Eure) et de la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan (Seine-Maritime).

❖ Le Carré de Dieppe comporte :

Un bassin extérieur de 50x15m, un bassin d'apprentissage (plaque à bulles et col de cygne), un bassin d'activité/ludique (jets, circuit aquatique), une pataugeoire (jeux d'eau), une réception toboggan, un bain bouillonnant
Traitement d'eau : filtration (sable), chlore gazeux
Activités spécifiques : groupes scolaires, bébés nageurs, cours de natation, aquagym, cours de plongée
Nature de l'eau : mélange de l'eau du réseau et de l'eau de mer



⁸ Actuellement Les Bains de Dieppe (changement d'exploitant)

❖ **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



❖ **La piscine Eurocéane de Mont Saint Aignan** comporte :

Un bassin extérieur de 50x15m, un bassin intérieur de 25x15m, un bassin ludique (jeux d'eau), une réception toboggan, un bain bouillonnant, une pataugeoire

Traitement d'eau : UV, filtration (sable), chlore gazeux, lessive de soude/acide sulfurique

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



Une campagne de mesures a été réalisée dans chaque piscine. Les dates de campagnes, les paramètres mesurés et le nombre des points de prélèvement sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : Descriptif des campagnes de mesures

Piscine	Date et heure de campagne	Durée et débit de prélèvement	Paramètres mesurés	Nombre des points de prélèvement
Piscine Le Carré de Dieppe	8 décembre 2016, 14h15	2h00, 200 ml/min	THM, température et humidité	3
Piscine de Breteuil	15 décembre 2016, 9h45	2h00, 200 ml/min	THM, température et humidité	3
Piscine Eurocéane de Mont Saint Aignan <i>prélèvement Atmo Normandie</i>	24 janvier 2017, 14h00 et 16h00	1h15, 1000 ml/min	Chloramines, température et humidité	4
Piscine Eurocéane de Mont Saint Aignan <i>prélèvement ARS</i>	24 janvier 2017, 14h00 et 16h00	1h15, 2000 ml/min	Chloramines	4

Dans la **piscine le Carré de Dieppe** les prélèvements ont été effectués en 3 points :

- N°1 au niveau du bassin d'apprentissage pendant la présence d'un groupe scolaire (une dizaine d'enfants), durée d'activité : environ 30 min., hauteur de prélèvement : 1,00m



- N°2 de côté du bassin ludique en face de la pataugeoire pendant le cours d'aquagym (une dizaine de personnes), durée d'activité : 1h00 ; la pataugeoire a été vidée, hauteur de prélèvement : 1,00m



- N°3 de côté du bassin ludique en face du bain bouillonnant pendant le cours aquagym (une dizaine de personnes), durée d'activité : 1h00, le bain bouillonnant a fonctionné seulement pendant une vingtaine de minutes lors de notre prélèvement, hauteur de prélèvement : 1,00m



Le plan avec les emplacements des points de prélèvement dans la piscine de Dieppe est présenté sur la Figure 4. Les prélèvements des THM ont été effectués à une hauteur d'un mètre par rapport à la surface d'eau.

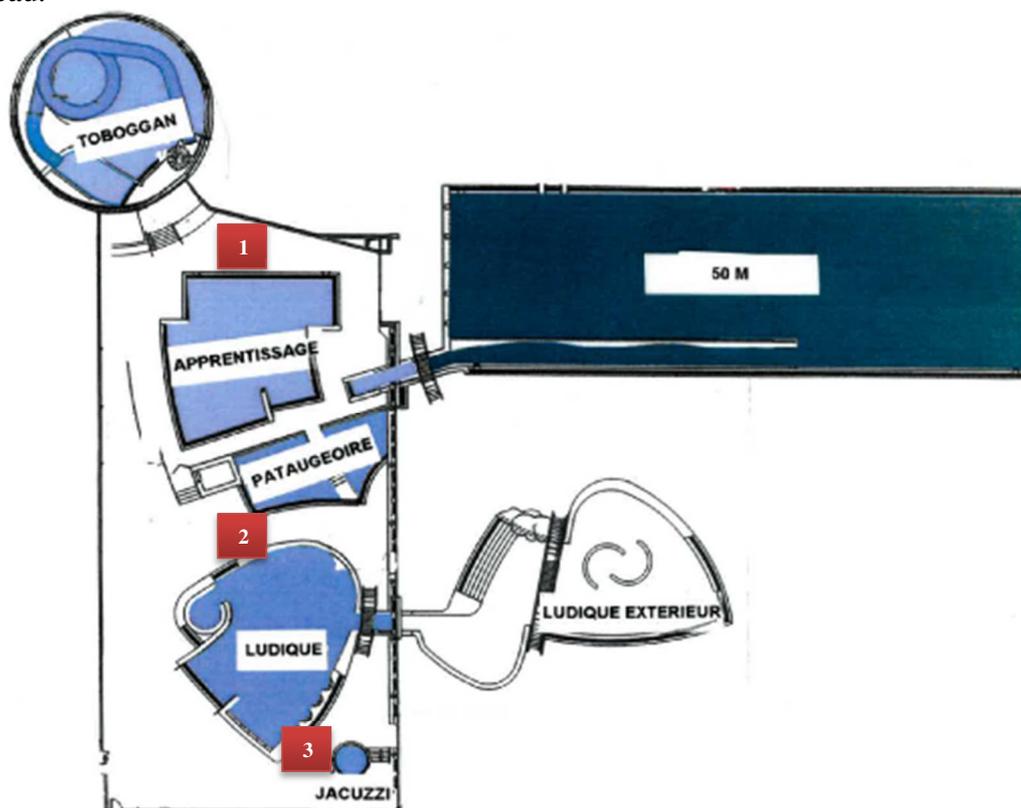


Figure 4 : Emplacement des points de prélèvement dans la piscine Le Carré de Dieppe.

A la **piscine de Breteuil** trois prélèvements ont été réalisés :

- N°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m) pendant la présence des groupes scolaires (une trentaines d'enfants) – jeux libres pour les enfants, durée d'activité : 2h00, hauteur de prélèvement : 1,00m



- N°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m) pendant la présence des groupes scolaires (une trentaine d'enfants) – jeux libres, durée d'activité : 2h00, hauteur de prélèvement : 1,00m



- N°2bis au niveau de la petite profondeur (0,9m) pendant la présence des groupes scolaires (une trentaine d'enfants) – jeux libres, durée d'activité : 2h00, hauteur de prélèvement : 0,30m



Le plan avec les emplacements des points de prélèvement dans la piscine de Breteuil est présenté sur la Figure 5. Les prélèvements des THM ont été effectués à deux hauteurs différentes, 1,00 mètre (point n°1 et 2) et de 0,3 mètre (point n°2bis) par rapport à la surface d'eau.

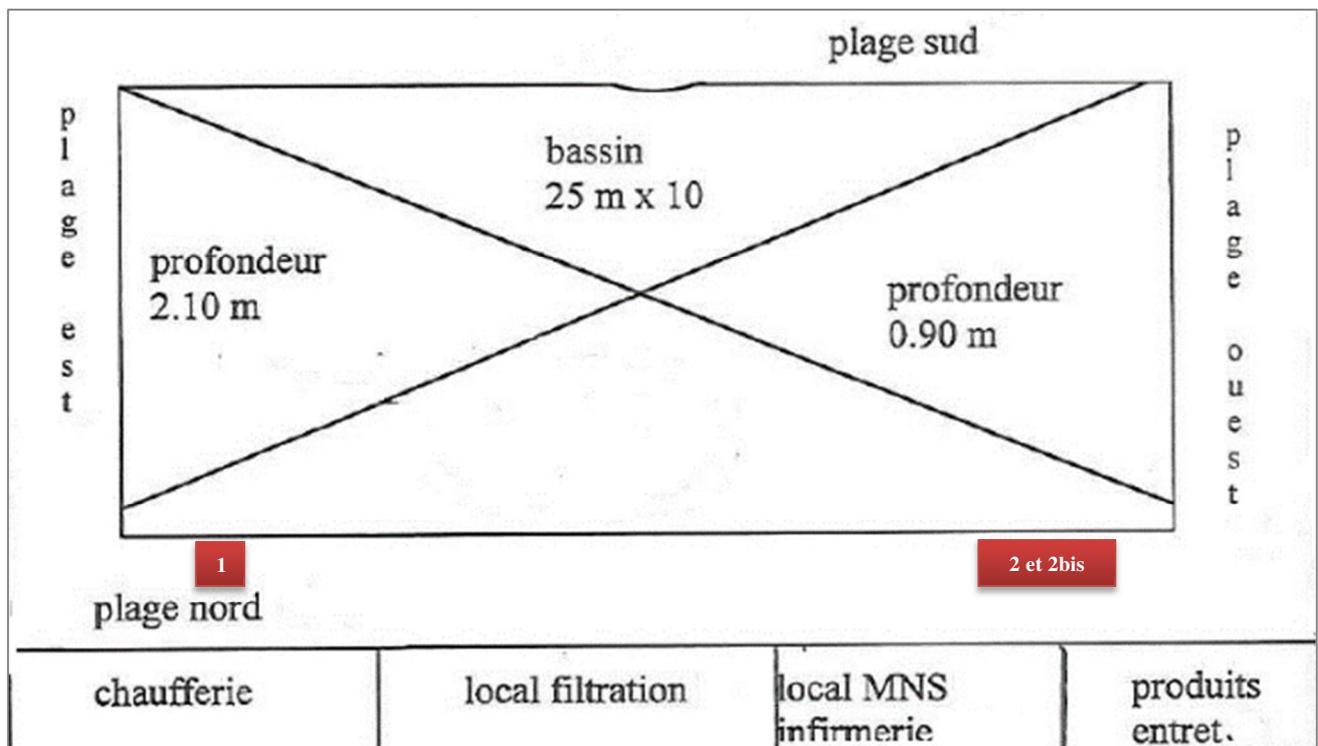


Figure 5 : Emplacement des points de prélèvement à la piscine de Breteuil.

A la **piscine Eurocéane de Mont Saint Aignan** les prélèvements ont été réalisés sur 4 points :

- N°1 au niveau du bassin intérieur (25m) à mi longueur, pendant les activités de natation (1h15) et la présence des groupes scolaires (15min), hauteur de prélèvement : 0,80m



- N°2 au niveau du bassin ludique du côté du bain bouillonnant, pendant l'aquagym, durée d'activité : 45min, jeux d'eau + bain bouillonnant (35min) ; hauteur de prélèvement : 1,00m



- N°3 au niveau du bassin ludique du côté de la réception toboggan, pendant l'aquagym, durée d'activité : 45min, jeux d'eau + bain bouillonnant (35min) ; hauteur de prélèvement : 0,50m



- N°4 entre le bassin ludique et la pataugeoire pendant l'aquagym, durée d'activité : 45min, jeux d'eau + bain bouillonnant (35min) ; hauteur de prélèvement : 1,00m



A la demande de l'ARS les prélèvements ont été effectués dans la mesure du possible au plus près de la surface d'eau, en veillant à ce que les projections d'eau n'impactent pas les prélèvements. De ce fait, les prélèvements n'ont pas tous été effectués à la même hauteur.

Pendant la campagne de mesures dans cette piscine, un test de comparaison entre la méthode décrite dans la fiche INRS « MétroPol M-104 » (appliquée par Atmo Normandie) et une méthode alternative, la valise « Triklorame », brevetée par l'INRS (appliquée par l'ARS) a été effectué. La valise triklorame, est un système permettant d'effectuer les prélèvements et les analyses des chloramines soi-même sans passer par un laboratoire. Le prélèvement est également réalisé sur une cassette au moyen d'une pompe dont le débit est fixé à 2000 ml/min (Figure 6). Les abaques pour cette méthode de mesures ont été construits pour des prélèvements entre 45 et 75 minutes ou de 8h. De ce fait, une durée de prélèvement d'1h15 a été choisie pour effectuer la comparaison entre les deux méthodes.

L'objectif pour l'ARS est de se former à l'utilisation de cette méthode alternative et de vérifier que les résultats obtenus sont cohérents avant d'envisager de l'utiliser de façon plus systématique dans d'autres piscines.



Figure 6 : Système de prélèvement « Triklorame »

Le plan avec les emplacements des points de prélèvement dans la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan est présenté sur la Figure 7.

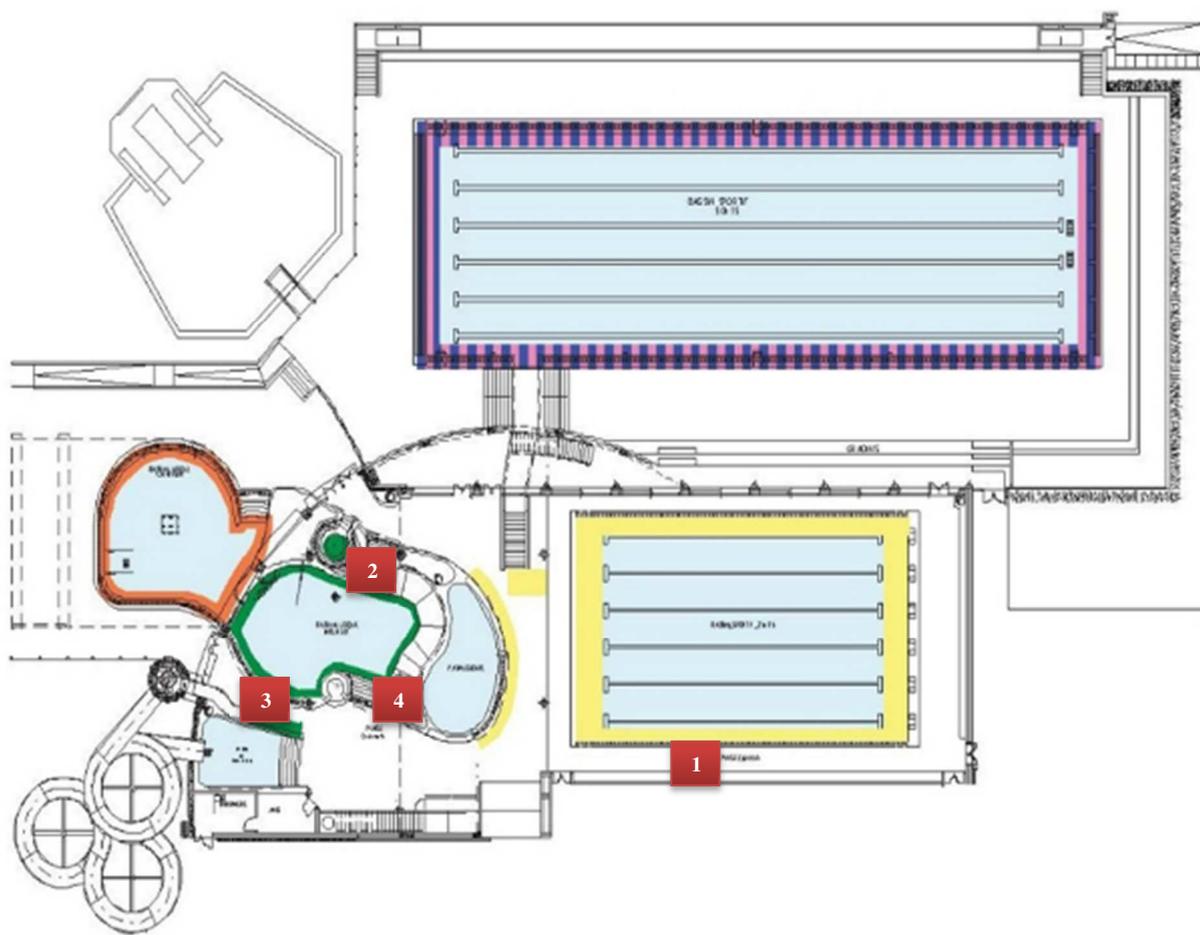


Figure 7 : Emplacement des points de prélèvement à la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan.

Avant la réalisation des campagnes de mesures, ATMO Normandie a effectué une visite des piscines pour définir avec l'ARS les points de prélèvement et pour prendre connaissance des systèmes de traitement d'eau, des systèmes de ventilation mis en place et pour questionner les exploitants sur les activités et les fréquentations des bassins. Ces informations ont ensuite permis de définir avec l'ARS la période la plus propice pour le prélèvement. Par ailleurs, au préalable de chaque campagne l'ARS a envoyé aux exploitants des piscines un questionnaire élaboré par ATMO Normandie permettant notamment de recueillir des informations pouvant être utiles à l'interprétation des résultats. Ces questionnaires ont été retournés remplis à l'ARS et transmis 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 4.

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

Piscine et point de prélèvement	Hygrométrie [%]	Température de l'air [°C]
Piscine Le Carré de Dieppe :		
○ N°1 au niveau du bassin d'apprentissage	60	24
○ N°2 de côté du bassin ludique en face de la pataugeoire	59	24
○ N°3 de côté du bassin ludique en face du bain bouillonnant	66	24
Piscine de Breteuil :		
○ N°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m), H=1,00m	68	27
○ N°2 au niveau de la petite profondeur (0.9m)	73	27
○ N°3 au niveau de la petite profondeur (0.9m), H=0,30m	73	27
Piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan :		
○ N°1 au niveau du bassin intérieur (25m)	74	25
○ N°2 au niveau du bassin ludique du côté du bain bouillonnant	74	25
○ N°3 au niveau du bassin ludique du côté de la réception toboggan	66	24
○ N°4 entre le bassin ludique et la pataugeoire	67	24

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.

5. Résultats

5.1. Résultats bruts

Les résultats bruts des mesures des trihalométhanes et des chloramines sont disponibles sur demande auprès d'ATMO Normandie (contact@atmonormandie.fr).

5.2. Résultats transformés

5.2.1. 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.

A la piscine de Dieppe 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.

A la piscine de Breteuil, 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 entre 0,59 et 0,66 mg/m³. La valeur la plus forte est mesurée au niveau de la petite profondeur du bassin à une hauteur de prélèvement d'un mètre. En ce qui concerne le test de mesures à deux hauteurs différentes : 0,30m et 1,00m, il est à noter que la concentration la plus forte a été enregistrée à la hauteur de 1,00m. 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).

Tableau 5 : Résultats de mesures des trihalométhanes dans les piscines : Le Carré de Dieppe et Breteuil 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	-	-
Le Carré de Dieppe				
N°1 au niveau du bassin d'apprentissage	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°2 de côté du bassin ludique en face de la pataugeoire	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
N°3 de côté du bassin ludique en face du bain bouillonnant	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Piscine de Breteuil				
N°1 au niveau de la grande profondeur (2,10m), H=1,00m	0,58	<0,1	<0,1	<0,1
N°2 au niveau de la petite profondeur (0,9m), H=1,00m	0,66	<0,1	<0,1	<0,1
N°3 au niveau de la petite profondeur (0,9m), H=0,30m	0,59	<0,1	<0,1	<0,1

Les concentrations mesurées en chloramines à la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan varient entre 0,41 et 0,53 mg/m³. Tous les points de prélèvement se caractérisent par un dépassement de la valeur limite recommandée par l'ANSES de 0,3 mg/m³. Un point de mesure dépasse légèrement la valeur limite de « confort » de 0,5 mg/m³ proposée par INRS. Cette concentration, de 0,53 mg/m³, a été enregistrée entre le bassin ludique et la pataugeoire. La valeur la plus faible a été mesurée au niveau du bassin ludique du côté de la réception toboggan.

Tableau 6 : Résultats de mesures des chloramines dans la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan et comparaisons avec les valeurs de référence

Point de prélèvement	Chloramines en eq NCl_3 mg/m^3
Valeur limite de « confort » (INRS)	0,5
Valeur limite (Recommandation ANSES)	0,3
VLCT-15min contraignante	1,5
Piscine Eurocéane Mont Saint Aignan	
N°1 au niveau du bassin intérieur (25m)	0,44
N°2 au niveau du bassin ludique du côté du bain bouillonnant	0,45
N°3 au niveau du bassin ludique du côté de la réception toboggan	0,41
N°4 entre le bassin ludique et la pataugeoire	0,53

5.2.2. Comparaison avec les résultats obtenus avec la valise « Triklorame »

Les résultats des chloramines obtenus par l'ARS avec la valise Triklorame sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par Atmo Normandie (Figure 8). Le plus grand écart est observé au niveau du point n°4, entre le bassin ludique et la pataugeoire. Un écart moins important est également enregistré sur le point n°2 au niveau du bassin ludique du côté du bain bouillonnant.

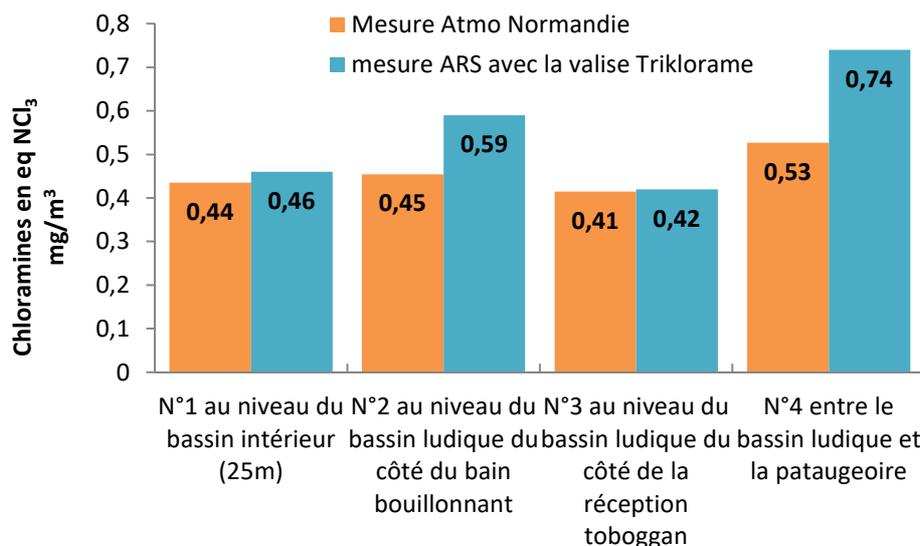


Figure 8 : résultats obtenus par l'ARS avec la valise « Triklorame » et comparaison avec les résultats d'Atmo Normandie.

6. Interprétation des résultats et discussion

Suite aux résultats de mesures des THM dans l'eau de la piscine Le Carré de Dieppe, présentant des concentrations élevées en THM (principalement du bromoforme), l'ARS a souhaité effectuer une évaluation des concentrations de ces polluants dans l'air des bassins afin de vérifier les teneurs auxquelles sont exposées les personnes fréquentant la piscine. La spécificité de cette piscine est l'utilisation d'eau de mer qui peut contribuer à la formation des THM et notamment du bromoforme. Les résultats de mesures dans cette piscine indiquent des concentrations très faibles, inférieures à la limite de quantification du laboratoire. Il faut toutefois noter que le nombre de baigneurs était très faible pendant la période des prélèvements. Dans cette piscine, deux activités étaient ciblées : aquagym et apprentissage de natation par un groupe scolaire. La fréquentation du cours d'aquagym était très faible (une dizaine de personne), de même pour le groupe scolaire. En plus, la pataugeoire située entre le bassin d'apprentissage et le bassin ludique avait été vidée. Il faut aussi souligner que suite aux teneurs élevées en THM dans l'eau, l'exploitant a diminué l'apport en eau de mer et arrêté le traitement de l'eau par UV ce qui a pu aussi avoir un impact sur la formation des THM.

La piscine de Breteuil est également concernée par la problématique de concentrations élevées en THM dans l'eau. Même si les concentrations en chloroforme mesurées dans l'air sont loin de dépasser la VLEP-8h, ces résultats semblent 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. Les mesures dans cet établissement ont été effectuées pendant une matinée d'hiver en présence des groupes scolaires (une trentaine d'enfant environ). Le brassage d'eau y était important puisqu'il s'agissait de jeux libres pour les enfants. Cet établissement date des années 70. Il rencontre quelques soucis 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. Le bassin est équipé d'un traitement d'eau par UV (6 de 9 lampes en fonctionnement pendant le prélèvement) ce qui peut également contribuer à la formation du chloroforme.

Dans cet établissement, sur un point de prélèvement, les mesures ont été effectuées à deux hauteurs différentes : à 30 cm et à 100 cm au-dessus du sol. L'échantillon est trop faible pour pouvoir conclure sur l'influence de la hauteur sur la concentration en chloroforme, mais pendant cette campagne la concentration la plus forte a été mesurée à la hauteur de 100 cm.

A la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan les mesures de chloramines ont été réalisées un après-midi en hiver. Deux objectifs étaient visés : vérifier les concentrations auxquelles peut être exposé un groupe scolaire pendant son activité et vérifier les concentrations auxquelles peut être exposé le grand public. Pour ce second objectif, les mesures ont été effectuées dans un bassin ludique pendant l'activité d'aquagym (une vingtaine de personnes), en présence de bain bouillonnant et à proximité d'une pataugeoire. La zone où se trouvent la pataugeoire, le bassin ludique et le bain bouillonnant se caractérise par un plafond bas et le bassin de natation par un haut plafond. La concentration la plus forte de $0,53 \text{ mg/m}^3$ a été mesurée entre la pataugeoire et le bassin ludique (Figure 9). La concentration la plus faible a été enregistrée au niveau du bassin ludique du côté de la réception toboggan. Cet endroit est exposé au flux d'air provenant de la zone de réception du toboggan qui pourrait influencer le résultat. Le point au niveau du bassin ludique de côté du bain bouillonnant se caractérise par une concentration de $0,45 \text{ mg/m}^3$ et il est à noter que le bain bouillonnant a été mis en fonctionnement pendant 45min au cours du prélèvement de 1h15. En ce qui concerne le bassin intérieur de 25m, malgré une faible activité pendant la période de prélèvement (pour le groupe scolaire 30 minutes de natation dans le bassin intérieur puis jeux dans le bassin ludique) la concentration dépasse également la recommandation d'ANSES de $0,3 \text{ mg/m}^3$. Les résultats sont relativement homogènes entre les parties

haute et basse de plafond, ce qui peut indiquer une répartition uniforme de l'air au sein de la piscine grâce au bon fonctionnement du système de ventilation.

En ce qui concerne la comparaison entre les prélèvements d'Atmo Normandie et ceux de l'ARS avec la valise « Triklorame » l'échantillon est trop faible pour pouvoir conclure sur l'homogénéité des résultats. Néanmoins pour deux des trois sites investigués, les résultats présentent des écarts pour les concentrations le plus fortes enregistrées avec la valise « Triklorame » (Figure 9). L'origine de ces écarts pourrait être le positionnement vertical de la cassette pendant le prélèvement avec la valise « Triklorame ». En effet dans cette position, il est possible que des gouttelettes d'eau pénètrent à l'intérieur de la cassette et se déposent sur filtre conduisant à la surestimation de la concentration en chloramines (cf. chapitre 3.3). La position des cassettes d'Atmo Normandie est horizontale afin de limiter le dépôt des gouttelettes d'eau.

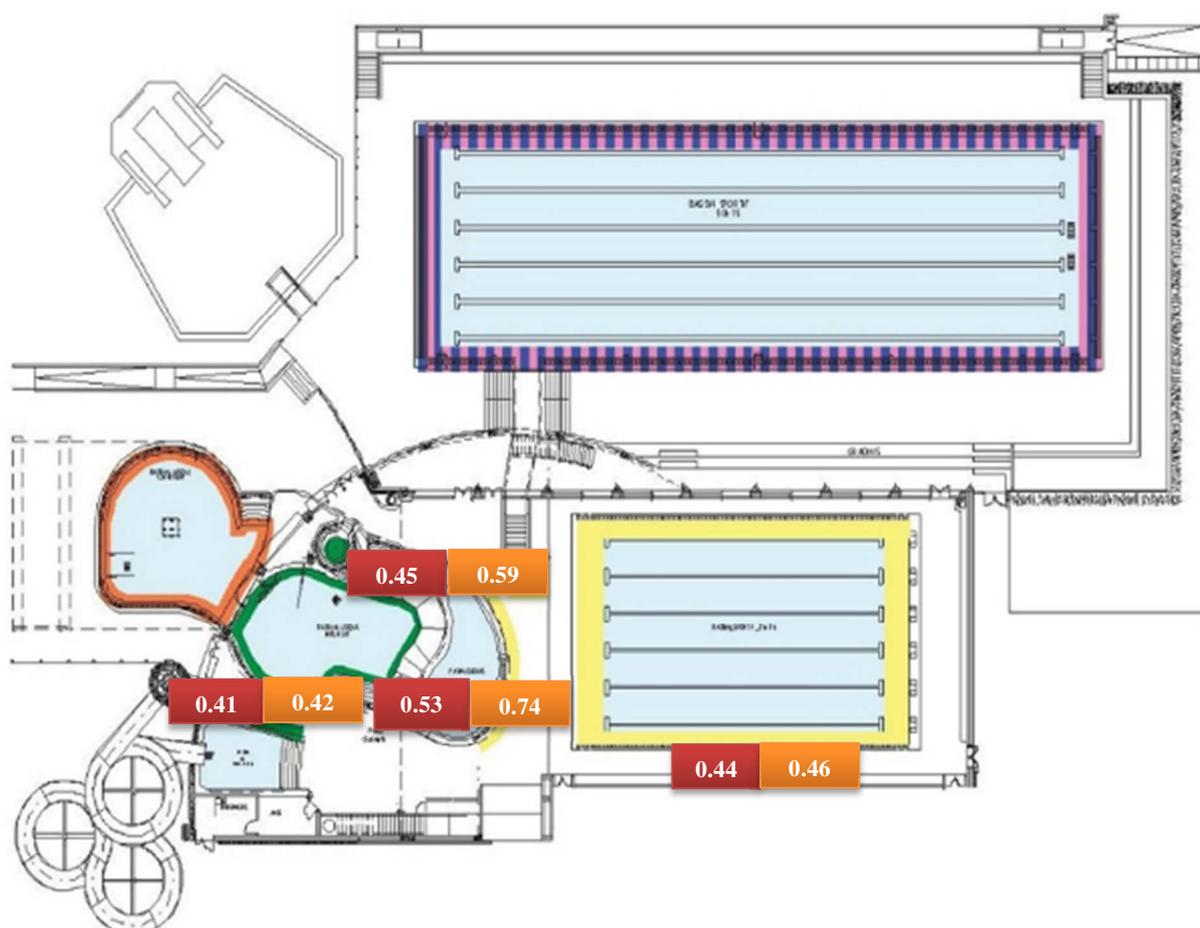


Figure 9 : Répartition des résultats de mesures des chloramines à la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan exprimés en eq NCl₃ mg/m³ (en rouge résultats d'Atmo Normandie, en orange résultats d'ARS avec la valise « Triklorame »).

7. Conclusion et recommandations

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'air intérieur de 3 établissements aquatiques des mesures de chloramines ou de trihalométhanes ont été réalisées pendant une campagne de mesures en période hivernale.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- au centre aquatique Le Carré de Dieppe, aucun des trihalométhanes mesuré n'a été détecté ce qui indique des concentrations faibles pendant la période de prélèvement. Néanmoins compte tenu de la fréquentation très faible qu'a connu l'établissement durant la période de mesures, il n'est pas possible de conclure à l'absence de risque d'exposition des baigneurs aux concentrations élevées en THM. Il serait intéressant d'effectuer une nouvelle campagne de mesures pendant une période de plus forte affluence pour conclure sur les améliorations apportées par l'exploitant (diminution de l'apport d'eau de mer notamment, l'arrêt du traitement par UV).
- à la piscine de Breteuil, seul le chloroforme, parmi 4 trihalométhanes mesurés, a été détecté. Même si les concentrations mesurées ne dépassent pas la VLEP-8h, elles sont élevées par rapport aux concentrations enregistrées dans d'autres piscines pendant différentes études. Il serait intéressant de continuer la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans cette piscine parallèlement à la mise en place d'actions visant à réduire ces concentrations.
- à la piscine Eurocéane à Mont Saint Aignan, les concentrations en chloramines mesurées sur les 4 points de mesure dépassent la « valeur limite » recommandée par l'ANSES et un de ces points de mesures dépasse la valeur de confort proposée par l'INRS. 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 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 d'une seule campagne de mesures dans chaque établissement aquatique 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 ces établissements pour pouvoir prendre en compte l'évolution des concentrations dans l'année en fonction des saisons et de la fréquentation des établissements. Il serait également intéressant de réaliser des mesures complémentaires en collaboration avec les exploitants qui souhaitent s'engager pour tester des actions susceptibles d'améliorer la qualité de l'air intérieur et ainsi vérifier leur efficacité.

8. Pages complémentaires

8.1. 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 cancérogènes 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 Jy, 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.