

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



Jean Parrat
Hygiéniste du travail

Delémont et Peseux, le 10 septembre 2008

Avec le soutien financier de l'Office fédéral de la santé publique et de la Suva

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

Auteur Jean Parrat, hygiéniste du travail auprès du Service des arts et métiers et du travail de la République et Canton du Jura à Delémont et responsable scientifique du LIST à Peseux (NE) – jean.parrat@jura.ch

Avec le soutien de l'Office fédéral de la santé publique et de la Suva

Septembre 2008

Correspondance et diffusion

- **Laboratoire intercantonal de santé au travail - LIST**
Rue Tombet 24
CH-2034 Peseux

Tel : (++41) 32 889 48 76
Email : service.list@ne.ch

- **Service des arts et métiers et du travail**
République et canton du Jura
1, rue du 24-Septembre
CH-2800 Delémont

Tel. (++41) 420 52 30 – fax (++41) 32 420 52 31
Email : jean.parrat@jura.ch

Impression Imprimerie Jurassienne, Delémont / JU

Reproduction à condition de citer la source

Résumé

Une campagne de mesure de la trichloramine atmosphérique a été menée, durant l'hiver 2007-2008, dans trente piscines des cantons du Jura, de Neuchâtel et de Fribourg. Parallèlement, des mesures de la qualité de l'eau (chlore libre, chlore lié, trihalométhane, DOC et urée) ont été réalisées. Le personnel occupé dans les piscines visitées a répondu à un questionnaire médical.

En premier lieu, nous constatons que les maîtres nageurs, les surveillants et les physiothérapeutes sont les professionnels les plus touchés par certains symptômes irritatifs liés à la présence de trichloramine dans l'air. Dès lors, nous préconisons la fixation d'une valeur limite d'exposition au poste de travail - VME - à 0.3 mg/m^3 (0.06 ppm) ainsi qu'une étude longitudinale destinée à cerner plus précisément le sujet d'un point de vue médical et technique.

Par ailleurs, la question de l'effet des contaminants atmosphériques, notamment sur les jeunes nageurs, étant encore largement ouverte, nous recommandons une investigation plus poussée dans le domaine de la protection des nageurs et notamment des bébés nageurs.

Le niveau moyen de trichloramine dans les trente installations est de 0.114 mg/m^3 avec un intervalle de confiance à 95% situé entre 0.071 et 0.157 mg/m^3 . Dix-huit (60%) des piscines visitées présentent un taux de trichloramine inférieur à 0.1 mg/m^3 et huit (27%) ont un niveau de trichloramine situé entre 0.1 et 0.2 mg/m^3 . Sur les quatre installations aux résultats les plus élevés, trois ont un taux de trichloramine situé à 0.30 et 0.31 mg/m^3 , la quatrième étant à 0.52 mg/m^3 . Comparativement à la valeur cible proposée en France (0.5 mg/m^3), ces résultats sont satisfaisants.

Par contre, les réponses des professionnels aux questionnaires ($n=184$) ont permis de mettre en évidence une augmentation de la prévalence des plaintes d'irritation des yeux, du nez et de la gorge lorsque le taux de trichloramine atteint 0.3 mg/m^3 . Les symptômes d'irritation de la gorge sont clairement liés au travail ($p < 0.001$). C'est le cas également des symptômes d'irritation du nez ($p = 0.016$) et des yeux ($p = 0.050$). Les problèmes de peau sont récurrents. En comparant les résultats obtenus pour les personnes exposées avec ceux obtenus pour un groupe de contrôle, les odds ratio (risque comparé à un groupe de personnes non exposées) sont significatifs pour les mêmes symptômes lorsque la concentration en trichloramine dépasse 0.3 mg/m^3 . Les odds ratio pour l'irritation des yeux et du nez sont, eux aussi, nettement plus élevés pour les personnes avec l'indice d'exposition cumulée le plus élevé.

La qualité des eaux de baignade laissait passablement à désirer. De nombreuses installations ne respectaient pas les valeurs de référence pour les THM (14x), le chlore libre (13x), le chlore lié (19x) et l'urée (2x). Les valeurs de tolérance étaient dépassées deux fois dans le cas du chlore libre et douze fois dans le cas du chlore lié. Des mesures doivent être prises pour améliorer cette situation. Toutefois, il n'a pas été possible de mettre en évidence une corrélation satisfaisante entre les taux de trichloramine atmosphérique et les différents paramètres mesurés dans les eaux de baignade.

Enfin, des mesures régulières de la trichloramine dans toutes les installations existantes devraient être instituées.

Table des matières

1. Introduction.....	6
1.1. Généralités	6
1.2. Réglementation	6
1.3. Objectifs du projet	7
1.4. Mise en œuvre	7
2. La trichloramine : origine et nature.....	8
2.1. Désinfection de l'eau et apport de polluants.....	8
2.2. La formation des chloramines et leur présence dans l'air	9
3. Revue de la littérature	10
3.1. Etudes expérimentales sur les animaux.....	10
3.1.1. Toxicologie aiguë par inhalation	10
3.1.2. Pouvoir irritant.....	10
3.2. Etudes sur les humains.....	11
3.2.1. Exposition aiguë : études de cas	11
3.2.2. Pouvoir clastogène	12
3.2.3. Expositions professionnelles.....	12
3.2.4. Expositions non-professionnelles – nageurs / bébés nageurs.....	15
3.2.4.1. Marqueurs de la perméabilité de l'épithélium bronchio-alvéolaire.....	15
3.2.4.2. Asthme chez les nageurs / bébés nageurs.....	15
3.2.4.3. Nageurs de compétition	17
3.3. Valeurs limites	17
3.4. Relations entre la trichloramine dans l'air et différents paramètres.....	18
4. Matériel et méthode.....	21
4.1. Sujet et méthode	21
4.2. Méthodologies	22
4.2.1. Mesures de la trichloramine atmosphérique	23
4.2.2. Mesures chimiques dans l'eau.....	24
4.2.3. Analyses statistiques des résultats	25
5. Résultats	26
5.1. Installations visitées	26
5.2. Caractéristiques des répondants aux questionnaires	27
5.3. Taux d'exposition à l'air contaminé par la trichloramine	30
5.4. Groupe de contrôle.....	32
5.5. Résultats des mesures de trichloramine dans l'air	33
6. Résultats des analyses du questionnaire.....	36
6.1. Prévalence des plaintes dans les différents groupes	36
6.1.1. Prévalence des plaintes en fonction des taux de trichloramine dans l'air.....	36
6.1.2 Odds ratio en fonction du niveau de trichloramine dans l'air	38
6.1.3. Odds ratio en fonction du taux d'exposition cumulée	39
6.1.4. Plaintes par profession	42
7. Trichloramine dans l'air: autres résultats.....	46
7.1. Mesures de la trichloramine dans l'air à différentes hauteurs	46
7.2. Mesures de la trichloramine lors d'une manifestation sportive.....	47
7.3. Variabilité au cours de la journée	47

8. Résultats des mesures dans les eaux de baignade.....	48
8.1. Moyennes par type de piscine.....	49
8.2. Qualité des eaux de baignade : commentaires	49
9. Autres résultats	
9.1. Température de l'air et de l'eau, hygrométrie	54
9.2. Comparaison des résultats de chlore libre et de chlore lié.....	54
10. Discussion	56
10.1. Niveaux de trichloramine dans les piscines visitées	56
10.2. Qualité des eaux de baignade.....	58
10.3. Résultats concernant les réponses au questionnaire.....	59
10.3.1. Biais	59
10.3.2. Discussion des réponses au questionnaire	59
10.4. Commentaires concernant les ventilations.....	62
10.5. Autres polluants atmosphériques	63
10.6. Divers	64
11. Recommandations	64
11.1. Recommandations en matière de santé publique	64
11.2. Recommandations en matière de protection des travailleurs	67
12. Autres études et résultats à venir.....	70

Remerciements

Références

1. Introduction

1.1. Généralités

La question de la présence de trichloramine dans l'air des piscines couvertes a été soulevée il y a plus de dix ans par les professionnels de la santé au travail [Héry (a)]. Elle a depuis, fait régulièrement l'objet de publications scientifiques dans les domaines de l'exposition du public utilisateur des installations (nageurs, sportifs de compétition, bébés nageurs, élèves, etc.) et de la protection de la santé des travailleurs. Sous-produit de la désinfection au chlore, la trichloramine est connue notamment pour son caractère irritatif. L'éventualité de l'exposition à la trichloramine des utilisateurs des piscines couvertes a surgi de manière marquée en Suisse au cours de l'année 2006. Plusieurs articles de journaux ont fait part de recherches scientifiques montrant que les plus jeunes utilisateurs et les bébés nageurs peuvent développer des réactions pulmonaires plus fréquemment que les non-utilisateurs de piscines couvertes [Riva]. Une des causes possibles à ces réactions serait l'exposition à des substances chimiques, parmi lesquelles la trichloramine. Le Laboratoire intercantonal de santé au travail (LIST : entité issue d'une collaboration en matière d'hygiène du travail entre les inspections du travail des cantons de Neuchâtel, de Fribourg et du Jura) s'est intéressé à la situation du personnel occupé dans les piscines couvertes en Suisse. Le LIST a constaté qu'aucune mesure de la trichloramine dans l'air des piscines couvertes n'avait jamais été réalisée en Suisse.

Dans le même temps, l'Unité de direction Protection des consommateurs de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) a montré son intérêt pour cette question. Elle a également publié un communiqué (28 mai 2007) résumant la problématique et précisant ce qui peut contribuer à une meilleure qualité de l'eau et de l'air des piscines.

Sur ces bases, le LIST a décidé de procéder à l'évaluation de la situation dans les piscines couvertes des trois cantons partenaires. Intéressés par le sujet, l'OFSP et la Suva financent conjointement ce projet.

1.2. Réglementation

La Suva n'a à ce jour fixé aucune valeur limite d'exposition aux postes de travail pour la trichloramine.

Le chlore est le produit de désinfection des piscines le plus utilisé dans tous le monde. En Suisse d'autres substances ont été utilisées sporadiquement mais ne se sont pas répandues.

En Suisse, les caractéristiques requises pour la régénération et la désinfection de l'eau dans les piscines publiques sont fixées dans la norme SIA no. 385/1 (2000), actuellement en révision. La norme suisse SIA 385/1 et la norme allemande DIN 19643 ont de grandes similitudes et les valeurs limites diffèrent fortement des exigences formulées dans les autres pays occidentaux. La norme SIA 385/1 n'aborde pas le sujet de la qualité de l'air dans les locaux.

La directive 2004-1F de la Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation (2005) contient des bases pour le calcul, la conception et l'exploitation d'installations aérauliques dans les piscines couvertes. Elle n'aborde pas le sujet de la trichloramine dans l'air.

Il n'existe pas de base légale suffisante pour imposer une valeur limite contraignante d'un polluant atmosphérique dans l'air de locaux récréatifs (l'ordonnance sur la protection de l'air ne s'applique pas dans un tel domaine).

En France, dès la fin des années 90, une valeur cible pour la trichloramine atmosphérique a été proposée à 0.5 mg/m³ (0.1 ppm).

En Belgique, à la suite notamment aux travaux du Pr. Bernard et aux investigations consécutives de Charlier, des valeurs cibles ont été fixées pour la trichloramine atmosphérique.

1.3. Objectifs du projet

Les objectifs principaux du projet étaient les suivants :

- Connaître la situation de l'exposition à la trichloramine atmosphérique dans un panel représentatif de la situation des piscines couvertes et autres installations du même genre en Suisse.
- Evaluer quantitativement l'exposition à la trichloramine du personnel occupé dans les piscines couvertes des trois cantons partenaires du LIST.
- Evaluer quantitativement l'exposition à la trichloramine du public utilisateur des piscines couvertes des trois cantons partenaires du LIST.
- Relever les principaux facteurs pouvant influencer la concentration en trichloramine dans les piscines concernées.
- Tirer des conclusions quant aux mesures à prendre en matière de protection des travailleurs.
- Fournir une image de la situation actuelle dans les piscines concernées et proposer, le cas échéant, des mesures de prévention à mettre en œuvre en matière de protection du public utilisateur.

Les objectifs secondaires du projet étaient les suivants :

- Comparer les résultats obtenus avec ceux publiés notamment en France, en Belgique et en Hollande.
- Comparer les résultats obtenus avec différentes mesures conduites dans les eaux des piscines étudiées.
- Proposer une valeur limite d'exposition pour la trichloramine aux postes de travail.
- Evaluer sommairement la situation sanitaire du personnel potentiellement exposé et la mettre en relation avec les résultats quantitatifs obtenus.
- Apporter à l'OFSP les bases quantitatives nécessaires à la décision quant à des possibles mesures complémentaires en matière de protection de la santé publique.
- Comparer les résultats obtenus avec les valeurs de référence et de tolérance de la norme SIA 385/1 actuellement en révision.
- Informer la population et les différents spécialistes, sur l'exposition à la trichloramine dans les piscines, sur les niveaux de risques encourus et les mesures à prendre pour les réduire.
- Le cas échéant, demander aux employeurs du personnel concerné de mettre en œuvre les mesures de prévention nécessaires.

1.4. Mise en œuvre

Afin d'atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus, la collaboration de plusieurs instances était nécessaire :

- Le LIST à Peseux s'est chargé de la mise au point de la méthode d'échantillonnage, de l'ensemble des prises d'échantillons (air et eau) et des préparations y relatives, des relevés techniques dans les piscines et de la récolte des données liées au

questionnaire médical. Ces travaux ont été conduits avec la collaboration des trois hygiénistes du travail concernés.

- Le laboratoire cantonal jurassien à Delémont (M. JJ Roth) s'est chargé de l'analyse des échantillons.
- Le dix premières installations ont été visitées et échantillonnées dans le cadre d'un travail de diplôme pour le MAS en santé au travail (Mme C. Reymond, Institut de santé au travail, Lausanne).

2. La trichloramine : origine et nature

2.1. Désinfection de l'eau et apport de polluants.

En raison de ses excellentes propriétés bactéricides, de son faible coût et de la facilité d'emploi de certains de ses dérivés (p. ex eau de Javel), le chlore est très largement utilisé pour les opérations de désinfection. C'est le cas pour la désinfection de l'eau des piscines dans laquelle il peut être introduit sous plusieurs formes [SIA] :

- chlore gazeux
- chlore gazeux produit par électrolyse de l'acide chlorhydrique ou du chlorure de sodium, avec séparation de la soude caustique résultante
- solution d'hypochlorite de sodium NaOCl (eau de Javel)
- Hypochlorite de sodium produit par électrolyse de chlorure de sodium
- Hypochlorite de calcium

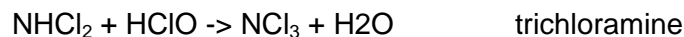
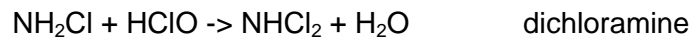
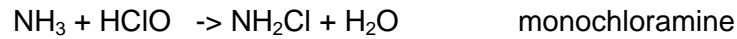
L'utilisation de stabilisants et autres acide trichloroisocyanurique (resp. acide isocyanurique) est interdite dans les piscines publiques en Suisse en raison notamment de l'apport que cela représente en substances organiques dans l'eau. De plus, l'équilibre chimique qui s'établit freine la libération du chlore. Enfin, l'automatisation du dosage de tels produits est difficilement réalisable.

La présence de chlore dans l'eau, outre l'effet désinfectant, provoque la formation de toute une série de substances issues de la réaction du chlore avec les polluants introduits par l'activité humaine, notamment l'urine, la sueur, les squames de la peau ou encore les cosmétiques. Certaines de ces substances peuvent se retrouver dans l'atmosphère des piscines, soit sous la forme de gaz, soit contenues dans les gouttelettes d'eau présentes à la surface du bassin. Les hydrocarbures halogénés (trihalométhanes, THM) ont dans ce cadre été largement étudiés (par exemple [Caro, Chu, Fantuzzi]) et c'est le chloroforme qui est présent le plus souvent (la constante de Henry est la plus élevée pour le chloroforme [Hamel]). La réaction du chlore avec les produits apportés par l'activité humaine dans l'eau des piscines a été largement étudiée [Hamel, Stottmeister, Aggazotti]. La présence d'aldéhydes et de phénols a également été décrite. Cependant, vu leur concentration dans l'air, la présence de ces substances ne suffit pas à expliquer des phénomènes d'irritation couramment décrits [(Hery 1995) (b)]. La sueur et l'urine sont des apports importants de produits azotés, notamment l'urée contenue à hauteur de 1.2 g/l dans la sueur, 22 g/l dans l'urine et 8 µg/cm² dans la peau [Stottmeister, Ciba-Geigy] représentant respectivement 69% et 83% de la totalité de l'azote présent dans l'urine et la sueur [Eicheldörfer]. L'apport moyen d'urée par un baigneur nageant durant deux heures est ainsi relativement important : 1200 mg en provenance de l'urine et 140 mg en provenance de la sueur. En équivalent-baigneur, cela équivaut à 1 à 1.6 g d'urée [Seux].

Le sujet de l'exposition du public et des professionnels des piscines au chloroforme atmosphérique ne sera plus abordé dans le cadre de ce travail, ce thème étant en dehors des objectifs fixés.

2.2. La formation des chloramines et leur présence dans l'air

Les réactions conduisant à la formation de chloramines inorganiques ont été largement décrites [Héry (a), Thicket]. C'est l'acide hypochloreux HClO, issu de la dissociation du chlore gazeux qui réagit avec l'ammoniac (et les substances R-NH₂ et R-NHCl) apporté par l'activité humaine. Lorsque de l'eau de Javel est utilisée, l'acide hypochloreux est formé par la réaction en équilibre avec l'hypochlorite ClO⁻. Les trois chloramines sont formées selon les réactions suivantes :



Dans les conditions de pH rencontrées dans les piscines, l'urée se transforme en chloro-urée après substitution de tous les atomes d'hydrogènes par des atomes de chlore. Ensuite, les composés intermédiaires se dégradent en di- et trichloramine avec production d'anhydride carbonique [Seux].

La constante de Henry de la trichloramine est de 100 à 1000 fois plus élevée pour la trichloramine que pour les deux autres chloramines. La solubilité de la trichloramine dans l'eau est extrêmement faible. Par un phénomène de dégazage, la trichloramine produite par les réactions décrites ci-dessus se retrouve dans l'air au-dessus des bassins de natation [Héry (a), Carbonelle (b)].

La Figure 1 : pollution de l'air par les composés **chimiques**, présente un schéma du phénomène de pollution de l'air par certains des composés chimiques issus de la réaction avec le chlore contenu dans l'eau.

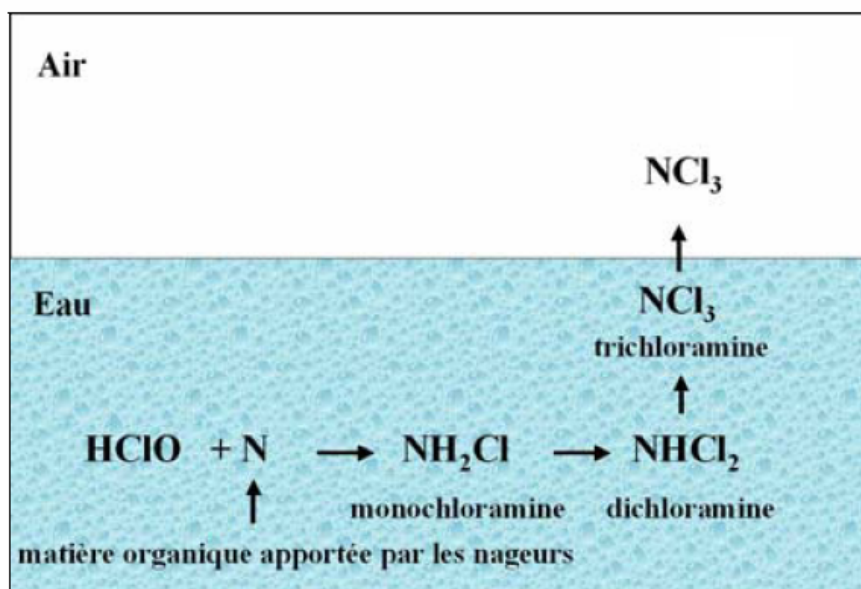


Figure 1 : pollution de l'air par les composés chimiques, selon [Carbonelle (b)]

3. Revue de la littérature

3.1. Etudes expérimentales sur les animaux

Très peu d'études in vivo ont été faites avec la trichloramine, car c'est un sous-produit de la chloration. Elles sont présentées dans ce chapitre. Les études épidémiologiques sont plus nombreuses bien que relativement rares. Elles sont présentées dans le chapitre suivant. A noter qu'aucune étude chronique ou subchronique ainsi que sur la carcinogénicité de la trichloramine n'a été identifiée. Seul le pouvoir irritant et ses effets (notamment l'œdème pulmonaire) ont été étudiés (voir ci-après).

3.1.1. Toxicologie aigüe par inhalation

Une LC_{50} de 112 ppm (545 mg/m³) a été mise en évidence en 1983 [Barbee] pour la trichloramine chez les mâles et femelles de rats Sprague-Dawley après une heure d'exposition. Tous les animaux du groupe exposé à la concentration la plus faible (58 ppm) ont survécu, alors que tous les animaux exposés à la concentration la plus élevée (157 ppm) sont morts dans l'intervalle de 24 heures suivant l'exposition. L'œdème pulmonaire a contribué de manière significative à la mortalité induite par l'exposition à la trichloramine. Selon les auteurs, la toxicologie aigüe de la trichloramine peut être considérée comme similaire à celle du chlore gazeux dont la LC_{50} est à 293 ppm pour une heure d'exposition. Définition de la LC_{50} : concentration d'une substance dans l'air qui, lorsqu'elle est administrée par voie d'inhalation pendant une période déterminée au cours d'une expérimentation animale, est censée causer la mort de 50 pour cent d'une population donnée d'animaux.

3.1.2. Pouvoir irritant

Le pouvoir irritant des chloramines en solution dans l'eau sur la cornée du lapin (Augenbindehaut) a été comparé à celui du chlore en solution dans l'eau [Eicheldörfer]. L'irritation est nette pour une concentration de 20 mg/l de chlore libre et de 4 mg/l pour les chloramines. La réaction a été très forte pour une concentration de 5 mg/l de chloramines. Une comparaison du pouvoir irritant (diminution de la fréquence respiratoire – bradypnée) du chlore gazeux et de la trichloramine par exposition de 8 groupes de 8 souris pendant 1 heure à différentes concentrations de trichloramine (4.4 à 24.6 mg/m³) et de chlore (4.9 à 25.2 mg/m³) a permis de calculer une RD_{50} (concentration responsable d'une diminution de la fréquence respiratoire de 50% = respiratory decrease) de 12.2 mg/m³ (2.5 ppm) pour la trichloramine et de 10.2 mg/m³ (3.5 ppm) pour le chlore. Les auteurs [Gagnaire (a) et (b)] concluent que les deux gaz ont un pouvoir irritant identique. Selon eux, à $0.1 \times RD_{50}$, l'être humain ressentirait un faible inconfort et cette concentration devrait représenter le niveau le plus élevé toléré dans l'industrie. A $0.01 \times RD_{50}$, aucune irritation sensitive ne serait plus observée et une valeur limite aux postes de travail devrait se situer à un niveau égal à $0.03 \times RD_{50}$. Elle se base évidemment sur le seul caractère irritatif de la substance. A partir de leurs résultats, les auteurs proposent, pour la trichloramine, une VME (valeur limite d'exposition aux postes de travail pour une durée de 8 heures par jour et 42 heures par semaines – TLV-TWA – threshold limit value-time weighted average aux USA) de 0.1 ppm (0.5 mg/m³) et une VLE (valeur limite d'exposition aux postes de travail durant max. 15 minutes – STEL – short term exposure limite aux USA) de 0.3 ppm (1.5 mg/m³).

3.2. Etudes sur les humains

On distingue plusieurs groupes de personnes exposées:

- les professionnels tels que les maîtres nageurs, les surveillants, les techniciens et le reste du personnel des piscines;
- les nageurs adultes (avec comme sous-groupe des nageurs de compétition et des personnes nageant pour des raisons médicales ou durant leurs loisirs);
- les nageurs enfants;
- les bébés-nageurs (moins de 1 an).

Les bébés et les enfants sont les plus sensibles, alors que les maîtres nageurs semblent le plus longuement exposés. Des études épidémiologiques portent sur ces différents groupes de personnes. Les nageurs sont dans le domaine de l'OFSP (santé et hygiène publique), alors que les maîtres nageurs sont des professionnels dont la surveillance des conditions de travail et du respect des normes en la matière sont du ressort des organes d'exécution de la loi sur l'assurance-accidents (LAA – prévention des accidents et maladies professionnels) et de la loi fédérale sur le travail (protection de la santé), la Suva, respectivement les inspections cantonales du travail.

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 de chloramines) [Thoumelin, Carbonnelle (b)].

Une bonne revue de la littérature a été publiée en 2007 [Kohlhammer]. A l'exception de deux références, elle ne présente cependant pas la littérature relative aux expositions professionnelles. Une revue plus médicale a été proposée en France en 2001 [Badinier-Paganon].

3.2.1. Exposition aiguë : études de cas

Trois cas d'asthme professionnel ont été décrits en France [Tafrechian]. Pour le premier, un maître nageur, la chronologie de l'asthme par rapport à l'exposition professionnelle aux chloramines a permis de retenir l'existence d'un lien de causalité. Le cas a été reconnu maladie professionnelle, l'asthme aux chloramines ayant été introduit en 2002 dans le tableau 66 [Pairon]. Le second cas traite d'une hôtesse de caisse dans une piscine municipale avec une aggravation du syndrome obstructif pendant les périodes d'exposition aux chloramines. L'asthme a été reconnu en maladie professionnelle. Le troisième cas traite d'un cas d'accident professionnel chez un maître nageur avec un test à la métacholine positif à 548 µg. L'expertise conclut à un asthme d'origine professionnelle lié à l'inhalation de chloramine, la chronologie des manifestations étant évocatrice.

Suite à une intoxication aiguë, une trachéotomie a été réalisée d'urgence sur une patiente en charge de nettoyages à l'aide de grandes quantités de solutions d'ammoniaque (3 à 10 pourcent) et d'eau de Javel (*bleach* à 5% de NaOCl). Selon les auteurs, la combinaison des deux solutions provoque un dégagement de chloramines. Lorsqu'elles sont inhalées, les chloramines réagissent avec l'humidité des voies respiratoires pour libérer de l'ammoniac, de l'acide chlorhydrique et un radical libre d'oxygène. L'exposition à de faibles concentrations de chloramines ne provoque que de légères irritations des voies respiratoires. A de plus fortes concentrations, la combinaison de l'ammoniac, de l'acide chlorhydrique et du radical libre d'oxygène est la cause d'effets corrosifs et de destructions cellulaires conduisant à un pneumonitis et à l'œdème [Tanen].

3.2.2. Pouvoir clastogène

On dit d'une substance qu'elle est clastogène lorsqu'elle a la faculté d'altérer la structure des chromosomes ou est susceptible de rompre un chromosome en plusieurs segments.

Une étude de l'INSERM sur les nageurs a fait ressortir une augmentation des cassures de l'ADN des lymphocytes sanguins suite à une exposition de nageurs pendant 4 jours successifs à la trichloramine. Un autre chercheur [Nadif] a entrepris un test des comètes pour évaluer l'éventuel effet clastogène de la trichloramine sur le rat et la souris. Ce test a fait ressortir l'absence probable d'effet clastogène de la trichloramine. La cause des cassures de l'ADN chez les nageurs doit donc être une autre substance chimique [Gérardin (a)].

3.2.3. Expositions professionnelles

Durant l'étude pour la validation de leur méthode d'échantillonnage des chloramines dans l'air, Hery et al. [Hery (a) et (b)] ont tenté de déterminer, par interrogation des salariés durant leur travail, une valeur limite de confort pour les personnes ne ressentant aucune gêne respiratoire ou irritation oculaire. La réponse donnée était comparée à la concentration mesurée de chloramines dans l'air. Dans l'une des piscines étudiée où la pollution atmosphérique en chloramines présentait une nette augmentation dans la journée, il a été possible de déterminer la valeur à partir de laquelle le personnel ressentait une gêne. Tel était le cas lorsque la concentration passait de 0.2 mg/m³ à 0,9 mg/m³ (0.04 à 0.18 ppm). Ce résultat est exprimé pour toutes les chloramines mesurées en équivalent trichloramine : l'échantillonnage effectué ne permettait pas de séparer la mono-, la di- et la trichloramine. En général, les premières plaintes ont été enregistrées pour des concentrations de 0.5 mg/m³ ou 0.1 ppm (équivalent trichloramine). Une valeur de 0.7 mg/m³ (0.14 ppm) a été jugée excessive par l'ensemble des participants à l'étude. Les auteurs soulignent que la valeur de 0.5 mg/m³ (0.1 ppm) a pour seul objectif de prévenir les sensations d'irritation et qu'elle ne peut prétendre répondre aux éventuelles conséquences sur la santé à plus long terme (en particulier aux problèmes de bronchite chronique signalés par certains participants à l'étude). Les résultats sont cohérents avec ceux de Gagnaire sur la comparaison du caractère irritant du chlore et de la trichloramine (voir chapitre 3.1.2 ci-dessus).

Aux Pays-Bas [Jacobs], une étude épidémiologique a porté sur 624 travailleurs occupés dans 38 piscines. Les personnes ayant répondu au questionnaire de santé soumis était principalement des femmes, non-fumeuses et travaillant à temps partiel. Les travailleurs à plein-temps étaient majoritairement des hommes. La moyenne d'âge était située à 40.5 ans. 119 mesures de trichloramine (mesure de l'ensemble des chloramines présentes sous la forme gazeuse dans l'air) ont été réalisées (durée de prélèvement : 2 heures) dans six installations (résultats (n=119) : 0.56 ± 0.25 mg/m³; min: 0.13; max : 1.34). L'exposition dans l'ensemble des 38 piscines a été recalculée sur cette base. Les employés les plus exposés présentaient une prévalence plus élevée des symptômes d'irritation des voies aériennes supérieures (upper respiratory symptoms). Ces symptômes étaient significativement corrélés avec l'exposition cumulative à la trichloramine. Maîtres nageurs : OR=2.4 pour la sinusite et OR=3.4 pour les rhumes chroniques. Pour l'ensemble du groupe étudié, les symptômes respiratoires généraux (general respiratory symptoms) étaient significativement plus élevés comparé à un échantillon de la population hollandaise, notamment pour la dyspnée à la marche (OR = 7.2), les problèmes respiratoires récurrents (OR=3.4), la médication contre l'asthme (OR=3.6). Un risque plus élevé pour les symptômes indicateurs de l'asthme a été observé chez le personnel occupé dans les piscines (surveillants, maîtres nageurs, personnes chargées du nettoyage et techniciens). Les auteurs soulignent que, dans leur pays et en France, le respect des règles de qualité de l'eau ne suffit pas à garantir le respect de la valeur-cible pour le confort proposée par Héry. Pour éviter les symptômes respiratoires chez les employés des piscines, les niveaux d'exposition doivent encore être réduits et un

standard d'exposition est nécessaire afin d'assurer une bonne qualité de l'air dans les piscines.

Deux cas d'asthme avérés et deux cas probables ont été rapportés par une consultation de pathologie professionnelle chez des surveillants d'un centre nautique [Lasfargues]. Les concentrations de trichloramine mesurées étaient très élevées (n=13; concentrations entre 0.42 et 1.08 mg/m³ soit 0.08 à 0.22 ppm).

Une étude réalisée en France [Massin (a)] sur 334 maîtres nageurs employés dans 63 établissements (17 centres ludiques et 46 piscines classiques) a mesuré les taux de trichloramine dans les piscines (résultats : concentration moyenne (SD) dans les piscines classiques (n=860) : 0.24 (0.17) mg/m³ , soit 0.05 (0.03) ppm et les piscines ludiques (n=402) : 0.67 (0.37)) soit 0.13 (0.07) ppm). Le passé médical du personnel ainsi que des tests de la fonction pulmonaire et de réactivité bronchique ont également été conduits aux postes de travail. L'étude a montré une prévalence des symptômes d'irritation plutôt élevée quel que soit l'indice d'exposition. Une relation dose-réponse statistiquement significative avec l'indice d'exposition mesuré apparaît pour tous les symptômes alors que pour l'indice d'exposition cumulée ce n'est le cas que pour les symptômes d'irritation oculaire. Il n'a par contre pas été observé de relation entre les symptômes respiratoires chroniques et les niveaux de trichloramine. L'étude n'a pas trouvé de relation entre l'exposition à la trichloramine, les indices de la fonction respiratoire et l'hyperréactivité bronchique. Mais elle n'exclut pas la possibilité d'effets chroniques. Selon les auteurs, l'hypothèse d'autosélection (effet du travailleur sain) ne peut pas être éliminée totalement. Enfin, une relation entre l'exposition à la trichloramine et l'hyperréactivité bronchique transitoire – comme en témoigne les plaintes au niveau trachéo-bronchique – semble plausible. La possibilité d'effets chroniques ne peut pas être exclue [Carbonelle (b)]. Selon l'INRS [Hery (d)], la première valeur limite d'exposition de 0.5 mg/m³ (0.1 ppm) proposée initialement par l'INRS pourrait être abaissée à 0.3 mg/m³ (0.06 ppm) à la lumière des résultats de cette étude épidémiologique.

[Thickett] a mis en évidence 3 cas relativement bien documentés d'asthme professionnel suite à une exposition de longue durée à la trichloramine chez deux surveillants (lifeguards) et un maître nageur (swimming teacher) ayant tous les trois été exposés durant 10 à 14 ans à l'air des piscines avant le développement des premiers symptômes. Les niveaux de trichloramine mesurés dans la piscine ou était occupé le cas no. 1 (surveillante), étaient situés entre 0.23 et 0.57 mg/m³ (n=15) soit entre 0.05 et 0.11 ppm au poste de travail et entre 0.1 et 0.31 mg/m³ (soit 0.02 et 0.06 ppm) dans la halle principale. Les trois cas ont subi un test de provocation par l'exposition à 0.5 mg/m³ (0.1 ppm) de trichloramine durant 3x10 minutes le premier jour et 2x10 minutes le jour suivant. Les auteurs concluent que la trichloramine est la cause d'asthmes professionnels; cela doit être pris en compte chez le personnel qui développe un asthme et qui travaille dans une piscine. Selon les auteurs, la trichloramine pourrait aussi être la cause d'asthme chez ceux qui nagent dans ces piscines. Dans un éditorial de la même publication, [Nemery] traite notamment de l'exposition journalière ou intermittente à l'air des piscines. Il souligne que peu d'informations sont disponibles sur les risques à long terme liés au caractère irritant et aux symptômes respiratoires développés par les maîtres nageurs et les surveillants occupés dans les piscines. Deux des patients de Thickett ayant un test de provocation à la trichloramine positif, il est difficile, selon les auteurs, de douter que ces personnes souffrent d'un asthme professionnel. Ils soulignent l'importance clinique de l'étude de Thickett car elle peut servir d'évidence pour l'identification d'un asthme professionnel à la trichloramine.

Dans une piscine ludique (parc aquatique; désinfection à l'hypochlorite, système UV) aux Etats-Unis, des investigations ont été menées afin d'identifier la cause de symptômes d'irritation des muqueuses et de problèmes respiratoires survenus chez le personnel [Chen]. Les niveaux de trichloramine mesurés vont de 0 à 0.66 mg/m³ (moyenne : 0.44) lorsque l'occupation des bassins est faible et de 0 à 1.06 mg/m³ (0.21 ppm) lorsque l'occupation des

bassins est élevée. Les auteurs rapportent que les niveaux étaient plus élevés à proximité des zones avec cascades, jets, etc. Les employés ont reporté 5.8 fois plus de symptômes de *chest flu* (fièvre et toux). La prévalence des problèmes de peau était 5 fois plus élevée que pour les personnes non exposées. Les maîtres nageurs ont rapporté plus souvent des problèmes de toux, fièvre, *chest flu*, depuis qu'ils travaillent dans l'installation. Un possible lien avec la présence d'endotoxines dans l'air est souligné par les auteurs. Le personnel exposé a rapporté de manière sensiblement plus forte des symptômes respiratoires, d'irritation des yeux et du nez, de fièvre, de problèmes de peau, tous étant liés au travail. La prévalence de problèmes de toux et d'irritation des yeux était significativement plus élevée lorsque l'occupation de l'hôtel du parc aquatique était maximale.

Une étude par questionnaire médical a été conduite auprès de 676 personnes occupées dans 59 piscines de la région Rhône-Alpes en France [Thoumelin]. 262 prélèvements d'air en continu ont été effectués dans 28 installations. La concentration moyenne en trichloramine était de 0.225 mg/m³ ou 0.05 ppm (0.08 à 0.57 mg/m³) sans différence significative entre les échantillons du matin, de l'après-midi ou du soir. Les symptômes d'irritation ORL sont fréquents chez les agents travaillant en piscine. Le risque relatif (OR situé entre 2.19 pour la toux sèche à 4.23 pour les yeux rouges et atteignant 5.56 pour l'extinction de voix) est très supérieur chez les agents exposés à l'ambiance des bassins par rapport aux agents non ou moins exposés à cet environnement. L'étude montre également que le risque de présenter le symptôme 'yeux rouges' croît avec l'augmentation de tous les indicateurs d'exposition retenus (chlore combiné dans l'eau, trichloramine atmosphérique). Pour les autres symptômes (nez et gorge irrités, toux grasse) seul un indicateur (chlore combiné dans l'eau) donne une augmentation significative. Selon les auteurs, la réalité d'un sur-risque lié à l'exposition professionnelle des agents travaillant auprès des bassins est bien mise en évidence. Ils soulignent également que le niveau de trichloramine de 0.50 mg/m³ (0.1 ppm) dans l'air apparaît manifestement comme trop élevé pour garantir le confort des personnes exposées.

En Allemagne, les taux de trichloramine dans l'air de 80 piscines couvertes ont été mesurés en 2006 [BGIA]. La valeur cible proposée en France n'a que rarement été dépassée. La médiane de l'ensemble des résultats était située à environ 0.2 mg/m³ (0.04 ppm). Les auteurs ont mis en évidence des concentrations de trichloramine plus élevées à 20 cm au-dessus de la surface de l'eau par rapport aux mesures effectuées à 150 cm au-dessus de l'eau. Dans les piscines de thérapie, scolaires et dans les bains thermaux, des concentrations faibles ont été mesurées. Dans les piscines de natation et de loisir, les taux étaient plus élevés (pas de donnée chiffrée).

D'autres professionnels sont également exposés à la trichloramine. Il s'agit notamment des personnes occupées à des travaux conduisant à l'utilisation de solution de chlore ou d'eau de Javel pour le nettoyage ou la désinfection. Ainsi une étude portant sur les travailleurs occupés au lavage de salades à l'aide d'eau contenant de l'hypochlorite a mesuré de 0.4 à 15 mg/m³ de chloramines totales [Hery (c)]. Dans 17 entreprises de l'industrie alimentaire, les taux de chlore et de trichloramine variaient entre 0.11 et 1.73 mg/m³. L'étude relève une forte prévalence des symptômes d'irritation et que ceux-ci croissent de manière significative avec l'augmentation de la concentration en trichloramine [Massin (c)].

L'importance des études sur l'exposition professionnelle à la trichloramine dans les piscines pour d'autres professions est d'ailleurs soulignée par certains auteurs [Nemery]. Ils relèvent que les professionnels du nettoyage (et les personnes occupées sporadiquement au nettoyage) ne sont pas seulement concernés par un risque aigu dû à une inhalation accidentelle résultant de mélanges incompatibles, mais que de récentes études épidémiologiques ont indiqué que les *nettoyeurs* appartiennent à la catégorie des professionnels à risque accru d'asthme.

3.2.4. Exposition non-professionnelle – nageur / bébés nageurs

3.2.4.1. Marqueurs de la perméabilité de l'épithélium bronchio-alvéolaire

Bernard a entrepris en 2000 une étude visant à mesurer les effets chroniques de la pollution atmosphérique sur l'épithélium bronchique chez les enfants bruxellois grâce à de nouveaux tests non-invasifs. Des enfants ardennais, considérés comme vivant dans un environnement rural moins pollué, ont été choisis comme groupe témoin. Les taux sanguins de 3 protéines d'origine pulmonaire, utilisées comme des marqueurs de la perméabilité de l'épithélium bronchio-alvéolaire, ont été mesurés [Bernard, 2003]. Ces marqueurs sont des protéines pulmonaires spécifiques, la protéine de cellules de Clara CCl6 et les protéines associées au surfactant SP-A et SP-B [Hermans, 1999]. Des corrélations ont ensuite été recherchées entre les taux sanguins de ces marqueurs et diverses données récoltées grâce à un questionnaire donné aux enfants et à leur entourage familial et scolaire. Contre toute attente, le taux sérique de certains marqueurs s'est révélé plus élevé pour le groupe témoin, indiquant que les enfants de ce groupe présentaient un épithélium respiratoire plus perméable que les enfants vivant à Bruxelles. L'analyse statistique a fait apparaître une coïncidence entre l'élévation des concentrations de ces protéines et la fréquentation des piscines. Ces travaux ont semé le doute quant à l'innocuité sur la santé des bassins de natation désinfectés au chlore.

Diverses études expérimentales chez l'homme et chez l'animal ont mis en évidence que cette hyperperméabilité épithéliale était due à des composés chlorés présents dans l'air des piscines, notamment la trichloramine [Carbonnelle 2002; Bernard, 2005]. Des expériences réalisées dans divers types de piscines ont permis d'établir que la trichloramine augmente la perméabilité épithéliale à partir d'une concentration voisine de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, une valeur inférieure à la moyenne de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ trouvée dans les piscines publiques belges. L'exposition chronique à l'air des piscines intérieures semble aussi s'accompagner d'une destruction des cellules de Clara qui pourrait prédisposer les enfants à des risques accrus d'infections respiratoires et d'asthme [Bernard, 2007].

3.2.4.2. Asthme et autre symptômes chez les nageurs et les bébés nageurs

Afin de déterminer la signification des lésions épithéliales induites par l'air chloré des piscines, Bernard a analysé rétrospectivement les résultats d'une étude de dépistage d'asthme effectuée sur une population de 1881 enfants de quatorze écoles bruxelloises [Bernard, 2003]. La prévalence de l'asthme variait de 5 à 30 % entre ces écoles sans qu'un lien statistique ne ressorte avec le niveau socio-économique des enfants, la présence d'animaux domestiques à la maison ou l'exposition à la fumée de cigarettes. En revanche, des corrélations significatives sont apparues entre la prévalence de l'asthme et la fréquentation des piscines chlorées. Ces corrélations étaient d'autant plus fortes que la fréquentation était précoce et que les piscines avaient des plafonds bas.

Bernard a poursuivi ses travaux sur les effets chroniques de la trichloramine en menant une nouvelle enquête épidémiologique sur 341 écoliers Bruxellois âgés de 10 à 12 ans [Bernard, 2006]. Ces enfants ont utilisé la même piscine publique à Bruxelles (taux de trichloramine allant de 300 à $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) avec une fréquentation variable. Du sang a été prélevé et divers tests respiratoires ont été entrepris (asthme d'effort, NO exhalé, fonction respiratoire, etc). Les parents des enfants ont rempli un questionnaire sur la fréquentation extrascolaire d'une piscine et sur les multiples autres facteurs de risque de l'asthme et de l'allergie. Les résultats montrent que les produits de chloration jouent un rôle adjuvant dans le développement de l'asthme chez les enfants atopiques. Cette interaction atopie/chlore apparaît d'autant plus importante que la fréquentation de la piscine est précoce.

Bernard a mené une nouvelle étude épidémiologique en 2006 sur 847 adolescents âgés en moyenne de 15 ans et recrutés dans trois écoles secondaires en région wallonne [Bernard 2007; Bernard 2006; Bernard 2008]. Une de ces écoles a été choisie parce que les cours de natation avaient lieu dans une piscine non chlorée désinfectée par un système d'ionisation cuivre-argent; ses élèves pouvaient donc servir de groupe de référence. Le protocole de l'étude comportait un questionnaire rempli par les parents, le dosage des IgE totales et spécifiques dans le sérum et divers tests dont un test de bronchoconstriction à l'effort. Cette étude confirme que les produits de chloration en piscine exercent un effet adjuvant sur le développement des affections allergiques (asthme, rhume des foins et rhinite allergique), même en l'absence d'antécédents familiaux. Cet effet adjuvant est particulièrement marqué pour l'asthme. Chez les sujets sensibilisés aux aéroallergènes ou affichant des IgE sériques supérieures à 25 kU/l, le risque d'asthme augmente de façon quasi linéaire avec l'exposition cumulée aux piscines chlorées. Le risque d'asthme apparaît ainsi dix fois plus élevé chez les sujets atopiques avec la fréquentation cumulée la plus importante (plus de 1000 heures). Les sujets ayant fréquenté la piscine cuivre-argent ont par contre quatre fois moins de risque d'être asthmatiques que le reste de la population et aussi deux fois moins de risque de souffrir d'un rhume des foins ou d'une rhinite allergique. L'asthme professionnel a été traité au chapitre 3.2.2.

En Allemagne une étude a évalué si la fréquentation de piscines à un âge précoce est à mettre en relation avec le développement de maladies allergiques ou avec des incidences élevées d'infections [Schoefer]. 2193 enfants ont été étudiés dans le cadre d'une étude prospective dès la naissance. Des contrôles ont été effectués durant le développement des enfants lorsqu'ils avaient atteints l'âge de 6 mois, un an, 18 mois, 2, 4 et 6 ans. On a interrogé les parents sur les éventuels diagnostics médicaux pour l'asthme, l'eczéma, le rhume des foins, la diarrhée, les otites et les infections ORL. On a également interrogé les parents sur la fréquentation par leurs enfants des piscines avant l'âge d'un an (bébé nageur) et avant l'âge de 3 ans. L'effet suspecté de la fréquentation précoce des piscines sur le développement de maladies atopiques durant l'enfance n'a pas pu être confirmé. Par contre, cette étude a montré que la pratique des bébés nageurs était liée à l'apparition de diarrhées mais pas avec une prévalence plus élevée de maladies atopiques plus tard dans la vie. Une des hypothèses est que la prévalence plus élevée d'infections rencontrée chez les bébés nageurs les protégerait contre le développement de maladies atopiques. La non-fréquentation précoce des piscines était associée à des prévalences plus élevées d'asthme (pas d'association claire pour les dermatoses atopiques et le rhume des foins). Il pourrait s'agir de causalité inverse avec des enfants allergiques ayant un penchant pour la natation moins fréquent que d'autres enfants. Les résultats de Schoefer ne correspondent pas à ceux publiés par Bernard (voir ci-dessus). La raison principale pourrait être le niveau dix fois plus élevé pour le chlore combiné dans les eaux de baignade en Belgique comparé à l'Allemagne. Des taux d'exposition plus faibles des enfants allemands pourraient conduire à des effets moindres sur la santé en termes de maladies atopiques. Le risque plus élevé de diarrhée chez les bébés nageurs pourrait être l'indication d'une désinfection insuffisante et d'une protection incomplète contre les agents pathogènes présents dans les eaux de baignade. Le dosage de la chloration en Allemagne pourrait ainsi être suffisamment bas pour éviter des problèmes pulmonaires et une prédisposition aux maladies atopiques, mais trop bas pour éviter des infections dues à des bactéries ou à des virus. Cette étude a plusieurs limitations et une conclusion définitive concernant les bébés nageurs et les maladies atopiques ne peut pas être formulée.

En Norvège, une récente étude [Nystad] portant sur 30870 enfants a tenté d'estimer l'effet de la fréquentation d'un cours pour bébés nageurs avant l'âge de six mois sur le développement de maladies respiratoires entre six et dix-huit mois. L'étude était basée sur une banque de données nationale portant sur l'ensemble des grossesses et des naissances survenues entre 1999 et 2005 et sur un questionnaire rempli par les femmes enceintes, respectivement les mères. Vingt-cinq pourcents des enfants concernés par l'étude ont participé à un cours pour bébés nageurs avant l'âge de six mois. Les enfants qui ne suivent pas un tel cours ne sont

pas plus sujets que les autres à des infections des voies aériennes inférieures, ni à des difficultés respiratoires (wheeze), ni aux otites. Par contre, les bébés nageurs de parents présentant un état atopique sont plus prompts que les autres à développer des maladies respiratoires. Les auteurs soulignent que l'exposition précède l'apparition de la morbidité. Ils concluent que la pratique précoce d'un cours pour bébés nageurs est associée à des difficultés respiratoires jusqu'à l'âge de 18 mois. Afin de solidifier leurs résultats, ils préconisent d'étudier la situation plus en détail dans le cadre d'une investigation longitudinale.

En Suisse, outre les articles de presse [Riva], la Société Suisse de Pneumologie Pédiatrique a pris position sur le sujet [Barrazone Argiroffo]. Dans son commentaire des travaux de Bernard, l'auteure souligne que la valeur prédictive positive des marqueurs pour le développement de lésions pulmonaires ou bronchiques reste encore à démontrer. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de corrélation avec la fonction respiratoire des enfants concernés. L'auteure souligne cependant qu'il n'est pas possible d'ignorer ces études, même si elles ne sont que préliminaires et corrélatives. Elle rappelle que la généralisation de l'apprentissage de la natation dans notre pays, en plus des mesures incitatives de prévention, est l'une des causes principales de la diminution de la mortalité par noyade. Il serait, selon elle, peu souhaitable et même néfaste que cette cause de mort toujours non négligeable chez l'enfant augmente à nouveau à cause de mesures préventives drastiques prises sans réflexion globale.

3.2.4.3. Nageurs de compétition

Des études ont indiqué une fréquence accrue d'asthme chez les nageurs de compétition. Mais elles n'étaient pas axées sur la trichloramine. Il pourrait, de plus, s'agir de causalité inverse, car la natation est souvent recommandée aux asthmatiques par leurs médecins, l'atmosphère chaude et humide des piscines prévenant les crises d'asthme [Carbannelle (b)].

Lévesque a comparé la prévalence des plaintes relatives à la santé de jeunes nageurs avec celle de jeunes joueurs de hockey indoor [Lévesque]. Il a évalué la relation entre les concentrations en chloramines et les plaintes des athlètes. Il a reporté que les nageurs rapportent plus fréquemment des symptômes d'irritation des yeux et des voies aériennes que les hockeyeurs. Ces symptômes étaient associés avec l'exposition aux chloramines dans l'air. Les nageurs ont été répartis en deux groupes selon leur exposition aux chloramines en dessous ou au-dessus de 0.37 mg/m^3 . Les résultats montrent des symptômes plus fréquents chez les individus les plus exposés. En conséquence, si une limite de référence devait être suggérée, elle devrait être en dessous de 0.37 mg/m^3 .

3.3. Valeurs limites

Des entretiens avec le personnel des piscines et des mesures de la concentration en trichloramine ont fait apparaître que les symptômes d'irritations oculaire et respiratoire apparaissent chez les maîtres nageurs à des concentrations de trichloramine proches de $500 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ [Héry (a)]. Cela a été confirmé par l'étude de [Gagnaire (a)] sur la souris et l'étude épidémiologique de [Massin (a) et (b)]. Cette étude a porté sur 334 maîtres nageurs employés dans 63 piscines. L'exposition de chaque maître nageur a été estimée en mesurant le taux de trichloramine dans l'air. 1262 prélèvements ont permis de déduire une concentration moyenne de trichloramine de $240 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ dans les 46 piscines classiques (860 prélèvements) et de $670 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ dans les 17 piscines ludiques (402 prélèvements). Les piscines ludiques apparaissent comme les plus problématiques parce que l'eau est plus chaude et que les jets d'eau, les bains bouillonnants et toboggans augmentent la volatilisation de la trichloramine. L'exposition à la trichloramine a alors été comparée aux symptômes signalés par les maîtres nageurs (irritations oculaire et respiratoire, bronchite

chronique, dyspnée, asthme, etc). Une corrélation nette avec la trichloramine a été trouvée pour les troubles irritatifs oculaires et respiratoires, mais pas pour les symptômes respiratoires chroniques. Cette étude épidémiologique fait apparaître que la première limite d'exposition de 500 µg/m³ pourrait devoir être abaissée à 300 µg/m³ [Gérardin (a); Héry (d)]. Mais l'INRS a maintenu 500 µg/m³ comme la valeur de confort (qui n'a pas de valeur légale en France, ce n'est qu'une recommandation). L'OMS recommande aussi cette valeur limite [WHO]. Les valeurs limites des études de l'INRS ainsi que de deux autres études sont présentées ci-après.

En Belgique, un arrêté du 10 octobre 2002 du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale, fixant les conditions d'exploitation pour les bassins de natation paru au Moniteur Belge du 8 novembre 2002, stipule que les valeurs maximales admissibles de chloramines dans l'air sont de 0.5 mg/m³ soit 0.1 ppm [Carbonelle]. Le tableau ci-après résume les publications mentionnées dans le présent paragraphe.

Référence	Valeur limite proposée [µg/m ³]	Paramètre	Public cible
Héry 1994	500	Irritations oculaire et respiratoire	Maitres nageurs
Gagnaire 1994	500	RD50 (= respiratory decrease)	Souris
Massin 1998	500 -> 300	Irritations oculaire et respiratoire	Maîtres nageurs
Bernard 2005	400	Perméabilité épithéliale	Enfants
Lévesque 2006	370	Irritations oculaire et respiratoire	Nageurs

Tableau 1 : liste des publications concernant une valeur cible

Il faut encore souligner une étude française [Thoumelin] qui souligne dans ses conclusions que le niveau de trichloramine de 0.5 mg/m³ dans l'air des piscines apparaît comme manifestement trop élevé pour garantir le niveau de confort des personnels des piscines.

3.4. Relations entre la trichloramine dans l'air et différents paramètres

Les facteurs qui influencent la concentration en trichloramine de l'air des piscines couvertes ont été souvent la source de diverses spéculations. Les facteurs suggérés sont le chlore libre, le chlore lié et certaines substances organiques dans l'eau; le taux de renouvellement de l'air des halles, l'hygiène des baigneurs. Ces deux derniers paramètres sont les plus difficiles à mesurer dans le cadre d'une investigation. Une étude française [Héry 1994] montre par exemple que la concentration en trichloramine dans l'air augmente lorsque les bains bouillonnant sont en action. L'augmentation passe de 0.3 mg/m³ (0.06 ppm) à plus de 1.0 mg/m³ (0.2 ppm). Des mesures en Allemagne (non publiées) confirment cette suspicion. Selon Héry et al. (1995), la concentration en chloramine dans l'air augmente au cours de la journée. D'autres auteurs [Stottmeister] montrent, pour une piscine, que le taux de trichloramine est inversement proportionnel à la part d'air frais injectée dans la ventilation. La relation entre les concentrations en chlore libre pour la désinfection et la trichloramine de l'air est difficilement étayée, car la plupart des publications ne donnent pas de valeurs parallèles pour chaque piscine, mais des valeurs moyennes pour l'étude. D'une manière globale, il semble bien qu'il y ait beaucoup de trichloramine dans l'air si la législation autorise des valeurs élevées de chlore libre et de chlore combiné dans l'eau. Par exemple, la Belgique autorisait auparavant jusqu'à 1.5 mg/l de chlore libre et 2 mg/l de chlore combiné. Selon Charlier [Charlier], la concentration en trichloramine atteignait alors 1 mg/m³ (0.2 ppm). Dans cette étude, la meilleure corrélation entre un paramètre de l'eau et la trichloramine est la teneur en chlore totale (0.62, p.58) contre 0.57 pour le chlore libre et 0.32

pour le chlore combiné. Ce dernier paramètre est par contre bien corrélé (0.68) avec le chloroforme de l'air.

En Hollande, où la valeur tolérée pour le chlore libre se situe entre 0.5 - 1.5 mg/l, il a été trouvé une bonne corrélation entre le chlore libre, le nombre de baigneurs et la hauteur du plafond et le taux de trichloramine [Jacobs]. Des valeurs exactes ne sont pas fournies.

En Espagne, des auteurs ont mesuré le «chlore» à 10 cm au-dessus de l'eau et estiment l'exposition par inhalation des travailleurs et des nageurs [Drobnic]. Les mesures incluent probablement le chlore gazeux et les chloramines et sont en moyenne de 0.42 ± 0.24 mg/m³. L'exposition journalière d'un travailleur (8 heures) est estimée à 1.5 g/j et celle d'un nageur (2 heures) à 4.0-6 g/j. La différence provient de l'intensité respiratoire du sportif.

La teneur en urée dans l'eau est un facteur peu étudié. L'urée provient de l'urine (21.9 g/l) mais aussi de la sueur (1.5 g/l) et de la peau des baigneurs (0.16 g/pers.). Selon Schmalz et al. 2007 (poster), dans une eau à pH 7.2 (celui des piscines), l'urée est le composé aminé qui fournit le meilleur rendement en trichloramine. La concentration en urée pourrait donc contribuer à une forte concentration en chloramines.

Pays	Chlore libre	Chlore combiné /THM	pH / urée	Publication	Trichloramine [mg/m ³]	Corrélations obtenues
Holland Norm de 2004 *	0.5-1.5 mg/l /	<1.0 mg/l / non défini	pH: 6.8-7.8 / ≤ 2.0 mg/l	Jacobs et al. 2007	Leisure : 0.54 Swimming : 0.59	Nb baigneurs, hauteur halle, chlore libre
Deutschland Bundesgesundheitsbl., 2006	Natation: 0.3-0.6mg/l (Warmsprudel: 0.7-1.0 mg/l)	≤ 0.2 mg/l / ≤ 20 µg/l	pH: 6.5-7.6 / non défini	Breuer Poster 2008	50th percentile : 0.15 mg/m ³ . 90th percentile : 0.4	Whirlpools, slides causes higher values
France* Arrêté du 07.04.1981	0.4-1.4 mg/l /	≤ 0.6 mg/l	pH: 6.9-7.7 / non défini	Héry 95, Massin98.	Leisure : 0.65 Swimming : 0.25 mg/m ³	
Belgique*	≤ 1.5 mg/l	≤ 2 mg/l	?	Charlier 2003. Phase 2 : 36 piscines	p. 40 Médiane : 0.3 mg/m ³ 25% au-dessus de 0.56 mg/m ³	Corrélation de 0.62 avec chlore total. Maxima aux heures tout public (p.25)
Suisse SIA 385/1, Version 2000	1)Badebecken 0.2-0.4 mg/l (limites: 0.1-0.8) 2)Warmsprudel: 0.7-1.0 mg/l (limites: 0.7-1.5)	≤ 0.2 mg/l / ≤ 30 µg/l	pH: 6.8-7.6 / ≤ 1.0 mg/l	Présente étude	Natation : 0.13 Scolaires : 0.08 Thérapeutiques : 0.11	aucune
Espagne	0.5-2 mg/l	??		Drobnic 1996	Mean : 0.46 total chlorine, incl. Chloramines ?	Mesures<10cm
UK Environm. Health Guildford Surrey GU2 4BB	1.0-2.0 mg/l	≤ 0.5 mg/l but no more than 1/3 of total chlorine	pH 7.2-7.6			

Tableau 2 : relation entre la concentration de chloramine et différents paramètres

* La législation ne donne pas différents paramètres entre les bassins nageurs et le whirlpools ou bassins à eau chaude.

UK : données trouvées sous <http://www.guilford.gov.uk/GuilfordWeb/Environment/EnvironmentalHealth/Swimming%20Pool%20Water.htm>

4. Matériel et méthode

4.1 Sujet et méthode

L'objectif principal de notre étude était de connaître le taux de trichloramine atmosphérique dans un panel de piscines couvertes représentatif des installations en Suisse. Nous avons donc développé une étude transversale de morbidité portant sur 30 piscines situées sur les territoires des cantons du Jura, de Neuchâtel et de Fribourg, zone d'activité du LIST. Dans le Jura, la totalité des installations accessibles au public ont été retenues (10 piscines). Dans les deux autres cantons, le choix s'est effectué aléatoirement pour atteindre au moins 30 installations au total (11 installations dans le canton de Neuchâtel sur un total de 25 et 8 installations dans le canton de Fribourg). Parmi les 30 piscines, une est située dans le canton de Vaud. Elle a été investiguée dans le cadre du travail de diplôme pour l'obtention d'un Master in Advance Studies – MAS - en santé au travail de Mme C. Reymond.

Tous les échantillonnages ont été réalisés durant la saison froide (de décembre 2007 à avril 2008) afin d'assurer des conditions de ventilation aussi semblables que possible (pas de fenêtres ouvertes). Cela devait également maximiser la probabilité de trouver une exposition élevée à la trichloramine. Les piscines ont, dans la mesure du possible, été visitées durant un pic de fréquentation (contact préalable avec les exploitants). Dans chaque installation, quatre échantillonnages d'air simultanés (durée : 2 heures à 1 l/min) ont été réalisés autour du bassin principal à une hauteur de 130 cm. Le nombre de personnes nageant dans le bassin durant le prélèvement a été évalué par l'opérateur. Parallèlement, deux échantillons d'eau étaient prélevés pour analyse des trihalométhanes (THM), du DOC (carbone organique dissout) et de l'urée. L'analyse des THM devant être réalisée dans les 24 heures, les échantillons d'eau ont été expédiés immédiatement au laboratoire (paquets refroidis à l'aide de cubes de glace).

Les taux de chlore libre et de chlore lié ont été mesurés dans l'eau des bassins concernés. Les résultats obtenus par les exploitants des piscines pour les mêmes mesures ont également été relevés. D'autres paramètres classiques (températures, humidité, pression atmosphérique) ont aussi été systématiquement mesurés.

Nous avons tenté de relever systématiquement les données concernant le système de ventilation de chaque installation. Pour des raisons de faisabilité, il n'était en effet pas possible, dans le cadre de ce travail, de mesurer exactement les paramètres effectifs, la durée de l'intervention étant trop courte et les moyens à mettre en œuvre dépassant les capacités de travail disponibles au moment des échantillonnages. Les données obtenues sont souvent fragmentaires.

Enfin, diverses caractéristiques des piscines visitées ont été relevées à l'aide d'un formulaire ad hoc (système de ventilation, méthode de désinfection de l'eau, volume de la halle, volume d'eau, surface des bassins, agitation de l'eau, nombre de personnes employées, jugement de la qualité de l'air par l'investigateur).

Durant la demi-journée d'échantillonnage, un questionnaire a été distribué au personnel présent. Outre les variables classiques (tranche d'âge, sexe, tabagisme, taux d'activité, type d'activité, tel que maître nageur, technicien, enseignant, surveillant, autre), nous avons demandé au personnel de s'exprimer sur le pourcentage de son temps de travail passé dans les divers zones de l'installation (bassins, locaux techniques, locaux administratifs, accueil/caisse, autre). Les variables médicales étudiées concernaient la survenance d'asthme ou de rhume des foies, les irritations des yeux, du nez, de la gorge, la survenance de toux (sèche, grasse ou persistante), de sinusite, d'essoufflements, de douleurs au thorax (dans la poitrine, oppression), de problèmes de peau (eczéma, peau sèche, rouge ou qui pique) et autres. Des exemplaires supplémentaires ont été remis aux responsables afin d'obtenir les

réponses du personnel absent lors de notre visite. Le questionnaire était accompagné d'une lettre explicative mentionnant notamment le caractère volontaire de la participation du personnel à l'étude. Un rappel téléphonique du responsable de l'installation après deux semaines a permis d'obtenir un maximum de réponse.

Un groupe de contrôle a été créé. En raison du nombre relativement faible de personnes occupées par les 30 piscines concernées par notre étude, il était difficile de créer un groupe de contrôle à partir des personnes les moins exposées ayant répondu au questionnaire. Le groupe de contrôle a été créé en soumettant le questionnaire à des personnes travaillant dans les administrations proches des différentes inspections du travail des cantons du Jura et de Fribourg.

4.2 Méthodologies

4.2.1. Mesure de la trichloramine atmosphérique

La méthode utilisée a été mise au point par l'Institut national de recherche sur la sécurité en France [INRS]. Elle a été largement décrite dans la littérature [Héry, Massin, Thoumelin entre autres]. Elle a été légèrement adaptée par nos soins (Méthode LIST : Dosage de la trichloramine).

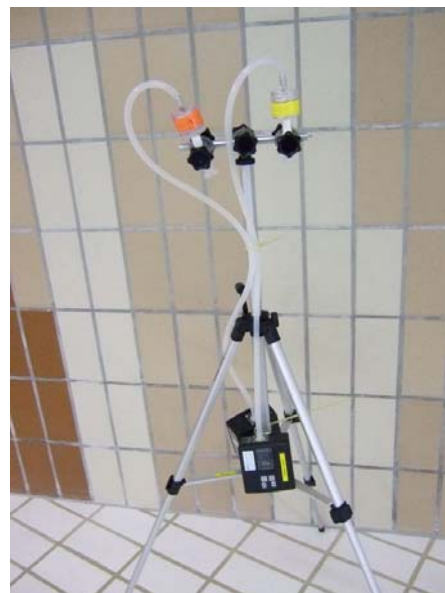


Figure 2 : échantillonneur NCl_3

L'échantillonneur est composé successivement d'un tube de gel de silice (Silica gel E, Fluka; granulométrie : 0.5 à 1 mm. Fluka no. 03563) imprégné d'acide sulfamique suivi de deux filtres en fibres de verre (\varnothing : 37 mm; Pall corporation, Supelco) imprégnés de carbonate de sodium et de trioxyde de diarsenic et montés dans une cassette Milipore. Le gel de silice imprégné retient les composés chlorés (chlore, acide hypochloreux, monochloramine et dichloramine) avec une efficacité supérieure à 95%, tandis que les filtres imprégnés collectent la fraction de chloramines la plus volatile (trichloramine) avec une efficacité proche des 100%.

L'échantillonnage a lieu à un débit d'environ 1 l/min (pompe MSA) durant 2 heures. Le débit est mesuré à l'aide d'un débitmètre calibré (débitmètre Drycall) au début et à la fin de l'échantillonnage.

Les tubes sont utilisés à deux reprises (maximum 4 heures d'échantillonnage) puis jetés. Les deux filtres sont extraits conjointement dans 20 ml d'eau bidistillée. Les chlorures sont ensuite analysés par chromatographie ionique (Laboratoire cantonal jurassien, Delémont).

La concentration en trichloramine peut ensuite être recalculée sur la base de la concentration en chlorure obtenue. Tous les volumes d'air mesurés sont ramenés aux conditions normales de température et de pression applicables en Suisse dans le domaine de l'exposition professionnelle : T = 20 °C (293 K) et P = 760 Torr (1013,25 mbar, 101325 Pa) [Suva].

Test de la méthode

La méthode a été testée en premier lieu en laboratoire. Des problèmes de blancs trop élevés (0.5 mg/l de chlorure par échantillon blanc) nous ont conduits à laver préalablement les filtres utilisés avant de les sécher (une heure à 60 °C) et de les imprégner avec la solution de carbonate de sodium/trioxyde d'arsenic). Cette démarche nous a permis de ramener les blancs en dessous de la limite de détection de la méthode (< 0.1 mg/l) et ainsi d'augmenter la sensibilité.

	Description	Durée [min]	Débit [l/min]	Volume TNP [m ³]	NCl ₃ [mg/m ³]	Ecart
poste 1 matin	LIST	142	1.17	0.155	0.49	5%
	INRS	142	1.16	0.154	0.51	
poste 2 matin	LIST	143	1.06	0.142	0.46	0%
	INRS	144	1.18	0.159	0.46	
poste 3 matin	LIST	158	1.25	0.185	0.45	3%
	INRS	157	1.27	0.187	0.46	
poste 4 matin	LIST	160	1.09	0.163	0.45	-3%
	INRS	160	1.1	0.165	0.44	
poste 1 apm	LIST	160	1.16	0.174	0.54	-15%
	INRS	160	1.19	0.178	0.47	
poste 2 apm	LIST	162	1.1	0.167	0.50	-12%
	INRS	163	1.17	0.178	0.44	
poste 3 apm	LIST	150	1.25	0.175	0.48	-6%
	INRS	151	1.26	0.178	0.46	
poste 4 apm	LIST	149	1.11	0.155	0.48	-18%
	INRS	150	1.08	0.152	0.40	

Tableau 3 : comparaison LIST / INRS

Dans un deuxième temps, la méthode a été testée par échantillonnages en piscine et en parallèle avec des capteurs en provenance de deux autres laboratoires : celui de l'INRS à Vandoeuvre en France, M. G. Hecht (Tableau 3 : comparaison LIST / INRS) et le Laboratoire Intercommunal Bruxellois à Bruxelles en Belgique, M. I. Suys. Les échantillonnages ont été réalisés dans les mêmes piscines, mais à des dates différentes. Considérant qu'il s'agit de mesures atmosphériques et les conditions relativement difficiles rencontrées dans les piscines, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants.

	Description	Durée [min]	Débit [l/min]	Volume TNP [m ³]	NCl ₃ [mg/m ³]	Ecart
poste 1 matin	LIST 1	133	1.03	0.129	0.66	-4%
	LIB 11	133	1.15	0.144	0.68	
poste 2 matin	LIST 2	134	1.06	0.133	0.87	36%
	LIB 21	135	1.15	0.146	0.64	
poste 3 matin	LIST 3	135	0.88	0.112	1.06	74%
	LIB 33	135	1.06	0.134	0.61	
poste 4 matin	LIST 4	137	1.03	0.133	0.60	0%
	LIB 44	137	1.2	0.155	0.61	
poste 1 apm	LIST 5	128	1.13	0.136	0.72	-6%
	LIB 55	129	1.05	0.127	0.77	
poste 2 apm	LIST 6	131	1.18	0.145	0.58	2%
	LIB 66	131	1.36	0.167	0.57	

Tableau 4 : comparaison LIST / LIB

Une analyse de corrélation avec une répartition log-normale montre que l'ensemble des résultats sont comparables et appartiennent à la même distribution.

4.2.2. Mesures chimiques dans l'eau.

Les analyses réalisées dans les eaux de baignade prélevées dans les installations visitées ont été réalisées par le Laboratoire cantonal du canton du Jura selon les méthodes suivantes:

Analyse des trihalométhanes (THM) – méthode MON ME CHRO 007

Extraction par Headspace, séparation par chromatographie en phase gazeuse et détection/quantification par spectrométrie de masse (GC-MS). Les THM systématiquement analysés sont les suivants : 1,1 Dichloroéthylène, dichlorométhane, trans-1,2-dichloroéthylène, cis-1,2-dichloroéthylène, chloroforme, 1,2-dichloroéthane, 1,1,1-trichloroéthane, tétrachlorure de carbone, trichloréthylène, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane et bromoforme. La limite de quantification est de 0.1 µg/l pour l'ensemble des substances sauf pour le chloroforme pour lequel elle s'élève à 0.15 µg/l et à 0.20 µg/l pour le dibromochlorométhane et le bromoforme. L'incertitude est de 10% pour l'ensemble des composés.

Analyse de l'urée – méthode MONME CHIM 045

L'urée est préalablement hydrolysée en ammonium à l'aide d'uréase. La totalité de l'ammonium présent dans l'échantillon est transformé en chloramine par du chlore actif puis combiné avec des phénols en milieu alcalin pour former un indophénol bleu-vert. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité d'urée et est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 650 nm. Limite de quantification : 0.015 mg/l. Incertitude : 4%.

Analyse du DOC – méthode MON ME CHIM 14

Le carbone minéral (HCO₃) est éliminé par acidification et dégazage. Le CO₂ produit par pyrolyse (analyseur type TOC-V de Shimadzu) est ensuite analysé par détection IR. Limite de quantification : 0.4 mg/l. Incertitude : 3%.

Les analyses de chlore libre et de chlore total ont été effectuées on-site par l'investigateur par la méthode DPD : la N, N-diéthylphénylènediamine-1,4 (DPD) ne réagit qu'avec le chlore libre (acide hypochloreux et hypochlorites) en l'absence de iodures. En présence de iodure de potassium, la DPD réagit avec le chlore libre et le chlore combiné (chloramines et composés organiques chlorés). Cette réaction se traduit par la formation d'une couleur rouge dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en chlore libre, respectivement chlore total. Elle est mesurée par photométrie à 515 nm à l'aide d'un appareil portable de type Swan Chematest 25. Limite de quantification : 0.02 mg/l. Incertitude pour les valeurs < 0.10 : 10%.

Cette méthode est standardisée et utilisée depuis de très nombreuses années dans l'ensemble des piscines du pays. Les exploitants des piscines réalisent quotidiennement des mesures de ce type afin de vérifier la qualité de leurs eaux de baignade et la conformité avec les normes imposées. Les résultats obtenus lors de nos investigations peuvent ainsi être comparés à ceux exploitants.

4.2.3. Analyse statistique des résultats

Les analyses statistiques fournies avec les résultats obtenus pour la concentration de trichloramine dans les différentes installations investiguées ont été réalisées avec le logiciel IHSTAT.

Des analyses statistiques descriptives classiques ont été conduites sur l'ensemble des résultats à l'aide du logiciel XLSTAT.

Outre des calculs de odds ratio avec calcul de l'intervalle de confiance à 95% selon Woolf, des analyses par régression linéaire multivariée ont été réalisées sur les résultats obtenus par questionnaires ainsi que pour tester les corrélations entre les niveaux de trichloramines et les différents paramètres chimiques correspondants mesurés dans l'eau. Dans ce dernier cas, des analyses multivariées et logistiques ont également été réalisées. Certaines corrélations ont été testées à l'aide du coefficient de corrélation de Spearman.

A noter qu'en raison du faible nombre de répondants dans leur ensemble et dans les différents groupes de stratification, il n'a pas été possible de corriger les résultats obtenus avec les caractéristiques habituelles (âges, sexe et tabagisme). D'ailleurs, plusieurs publications ayant porté sur un nombre plus élevé de personnes exposées à la trichloramine indiquent que dans ce cas, la correction n'a pas apporté de modification significative [p. ex. Thoumelin]. Jacobs par contre obtient de meilleurs résultats après ajustement sur le sexe, l'âge et le tabagisme [Jacobs].

5. Résultats

5.1. Installations visitées

Les piscines visitées sont représentatives de la situation dans les trois cantons concernés. Bien que l'échantillon choisi ne contienne aucune piscine ludique au sens de ce qu'entendent notamment les voisins français (installation équipée de générateurs de vague, de jets d'eau, de bulles, de toboggans, etc. [Massin]), les 30 installations concernées devraient correspondre au panel des piscines couvertes de l'ensemble du pays. Certaines installations étaient équipées de jacuzzi, mais la surface de ceux-ci était proportionnellement très limitée par rapport à la surface des bassins de natation principaux. Le jacuzzi est souvent situé à l'intérieur de la halle de natation. L'unique piscine ludique a été classée dans cette catégorie alors qu'elle ne dispose pas de générateurs de vagues ni de toboggans.

No	Type	Système de désinfection	Vhalle [m ³]	Surface des bassins [m ²]	Nombre questionnaires
1	natation	Cl ₂	10812		8
2	scolaire	Electrolyse de NaCl	1892	131	2
3	scolaire	Javel	807	142	6
4	thérapeutique	Adamant		142	9
5	scolaire	Javel	1565		13
6*	natation	Javel	8586	475	5
7	scolaire	Javel	2093	200	2
8	scolaire	O ₃ + électrolyse NaCl	2826	128	16
9	natation	Cl ₂	1810	250	3
10	thérapeutique	Javel + O ₃	560	61	4
11*	natation	Javel	6510	275	5
12	natation	Hypochlorite de Na			5
13*	thérapeutique	Javel + O ₃	500	72	2
14	natation	Stérisol 14%	4384	275	4
15	scolaire	Cl ₂	1000	133	3
16*	natation	Hypochlorite de Ca		350	7
17	thérapeutique	O ₃ + Electrolyse de NaCl	405	69	6
18	thérapeutique	Javel	155	25	6
19	thérapeutique	Adamant			13
20	thérapeutique	Javel	207		9
21*	loisirs	Javel			7
22	thérapeutique	Hypochlorite de Ca	3036		6
23	thérapeutique	O ₃ + Cl ₂	1749	72	10
24	scolaire	Javel	1383		6
25	thérapeutique	Javel			
26	scolaire	Javel	2747	315	
27	natation	Cl ₂	7000	375	6
28	natation	Javel	2700	250	3
29	natation	Javel	25000		9
30*	thérapeutique	Adamant	1333		8

Tableau 5 : caractéristiques des installations visitées

Nous avons donc visité 30 piscines parmi lesquelles on trouve 8 installations scolaires, 10 installations publiques de natation et 11 installations thérapeutiques généralement situées dans un hôpital ou une clinique ou encore dans une institution d'accueil pour personnes handicapées. Enfin, une installation a été classée dans la catégorie 'loisirs' bien qu'elle ne dispose pas des installations souvent rencontrées dans ce type d'exploitation comme par exemple un toboggan ou un bassin avec des vagues artificielles.

Certaines installations visitées (no. 6, 11, 13, 16, 21 et 30 avec un * dans le tableau) sont équipées d'un jacuzzi généralement installé dans la halle de natation à côté du bassin de natation. Les jacuzzis des installations no. 6 et 30 n'étaient pas en fonctionnement lors de l'échantillonnage.

Sur les 30 piscines concernées, 5 utilisent encore du chlore gazeux (Cl_2) pour la désinfection de l'eau des bassins. Deux d'entre elles utilisent cette technique en complément à une désinfection à l'ozone (génération par lampes UV). Cette dernière méthode est utilisée par 4 installations, deux en couplage avec une chloration par chlore gazeux, les deux autres en couplage avec une électrolyse de chlorure de sodium (NaCl). Trois installations utilisent le système Adamant[®] qui consiste en une électrolyse contrôlée de l'eau du bassin contenant 1 à 1,5% de NaCl. La majorité des exploitants désinfecte les eaux de baignade par adjonction contrôlée d'hypochlorite de sodium, souvent sous la forme d'eau de Javel à 13-14%. Le pH est généralement ajusté, avant la réinjection de l'eau traitée dans les bassins, par adjonction contrôlée d'une solution à 13 – 15 % d'acide chlorhydrique. Seules trois installations utilisent une solution d'acide sulfurique. Généralement, l'eau est filtrée soit sur un filtre à sable, soit sur un filtre à diatomées. Certaines installations sont équipées en sus d'un filtre à charbon actif, notamment celles utilisant de l'ozone.

Enfin, le tableau indique le nombre de questionnaires reçus en retour. A noter qu'il peut parfois s'agir, pour certaines installations, de personnes très occasionnellement exposées, comme par exemple pour l'installation scolaire no. 8.

5.2. Caractéristiques des répondants aux questionnaires

Au total 184 questionnaires ont été retournés. A noter que cela ne correspond absolument pas au nombre d'employés dans les piscines. En effet, dans certaines installations occupant peu de personnel (2 ou 3 personnes), les professionnels exposés sont bien plus nombreux. Tel est le cas par exemple des piscines dans les établissements thérapeutiques où les physiothérapeutes sont régulièrement occupés dans les bassins, certains au-delà de 50% de leur temps de travail, d'autre seulement 1 à 2 heures par mois. La situation est identique dans les piscines scolaires où certains professeurs de sport sont régulièrement dans les locaux de la piscine alors que d'autres collègues n'y sont que durant quelques leçons par année.

Concernant l'ensemble des données issues des questionnaires, une remarque générale s'impose : les questionnaires ayant été remplis directement par les personnes concernées, certaines indications manquent. Par exemple, certaines personnes n'ont pas indiqué leur sexe ou leur tranche d'âge. D'autres ne donnent aucune information sur leur profession, etc. Les totaux ainsi obtenus dans les tableaux et graphiques ci-après ne correspondent donc jamais au nombre total de questionnaires rentrés de 184.

	Femmes n (%)	Homme n (%)	Total n (%)
Sexe	61 (34)	117 (66)	178
Fumeur	9 (15)	29 (25)	38 (21)
Ancien fumeur	5 (8)	8 (5)	13 (7)
Âge			
<i>moins de 18 ans</i>	1	1	2
<i>18 à 25 ans</i>	5	1	6
<i>26 à 35 ans</i>	17 (30)	19 (17)	36 (22)
<i>36 à 50 ans</i>	24 (42)	57 (50)	81 (47)
<i>plus de 50 ans</i>	10 (18)	36 (32)	46 (27)
<i>Total</i>	57 (33)	114 (66)	171
Taux d'activité			
<i>moins de 49%</i>	27 (48)	34 (29)	61 (35)
<i>50%</i>	5	3	8
<i>51 à 79%</i>	8	2	10 (6)
<i>80 à 99%</i>	5	6	11 (6)
<i>100%</i>	11 (20)	72 (62)	83 (48)
<i>Total</i>	56 (32)	117 (68)	173
Profession			
<i>Enseignant</i>	23 (39)	33 (29)	56 (32)
<i>Maître nageur</i>	7	27 (24)	34 (20)
<i>Technicien</i>	1	24 (21)	25 (15)
<i>Physiothérapeute</i>	14 (24)	5	19 (11)
<i>Technicien surveillant</i>	1	11 (8)	12 (7)
<i>Surveillant</i>	3	7	10
<i>Thérapeute</i>	2	2	4
<i>Caissière</i>	4		4
<i>Concierge</i>	2	1	3
<i>Gérant</i>		2	2
<i>Monitrice de sport</i>	1		1
<i>Autre</i>	1	1	2
<i>Total</i>	59 (34)	113 (66)	172

Tableau 6 : caractéristiques des répondants au questionnaire

Afin de faciliter la compréhension des tableaux, les données concernant les maîtres nageurs ont été regroupées. Le tableau ci-dessus mentionne un total de 34 maîtres nageurs qui est constitué de 23 personnes ayant mentionné uniquement la profession de maître nageur (68%), 4 ayant associé cette profession à celle d'enseignant, une à celle de surveillant et 6 à la profession de technicien.

Les hommes représentent les deux tiers du personnel ayant répondu au questionnaire. Un cinquième des répondants est fumeur et moins de 10% sont d'anciens fumeurs. Presque la moitié (47%) est âgée 35 et 50 ans ; le quart (27%) a plus de 50 ans. La moitié travaille à un

taux d'occupation de 100% alors que la moitié des femmes (48%) est à un taux d'occupation de moins de 50% contre 29% chez les hommes.

Les enseignants sont les plus nombreux (32%), suivi des maîtres nageurs (20%) et des techniciens (15%). Groupés avec les techniciens surveillants (n=12), les surveillants (n=10) représentent 13% de la population étudiée (n = 12+10).

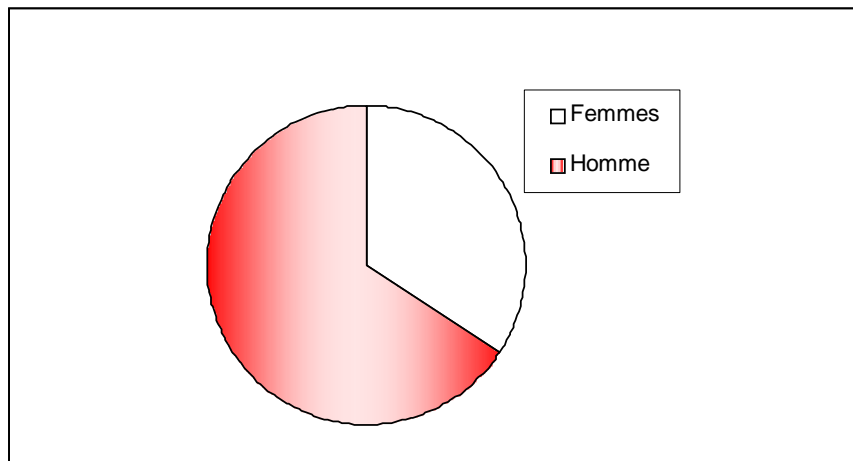


Figure 3 : répondeurs au questionnaire - répartition ho/fe

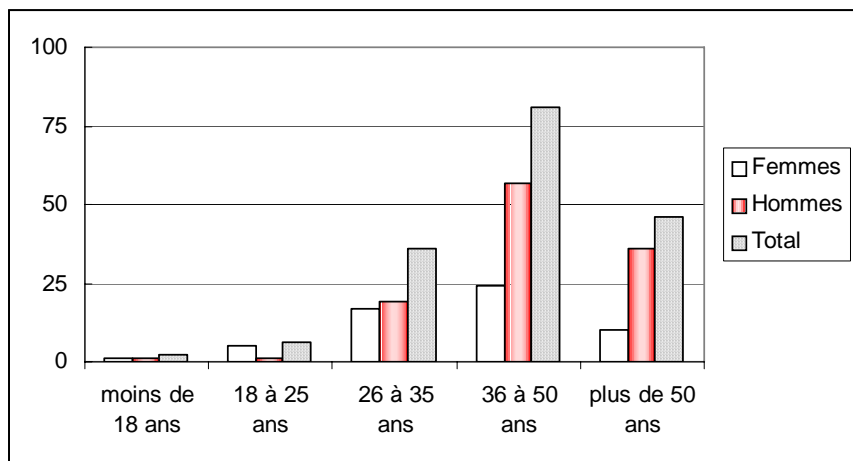


Figure 4 : nombre de répondeurs au questionnaire, selon l'âge

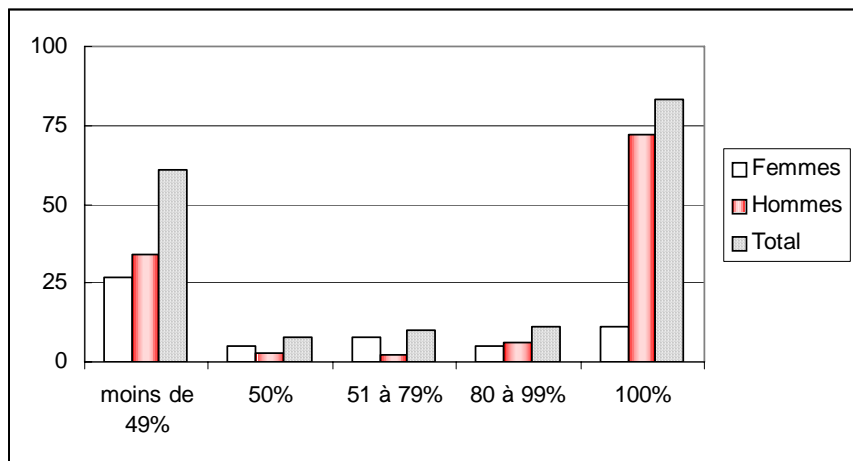


Figure 5 : nombre de répondeurs au questionnaire, selon le taux d'occupation

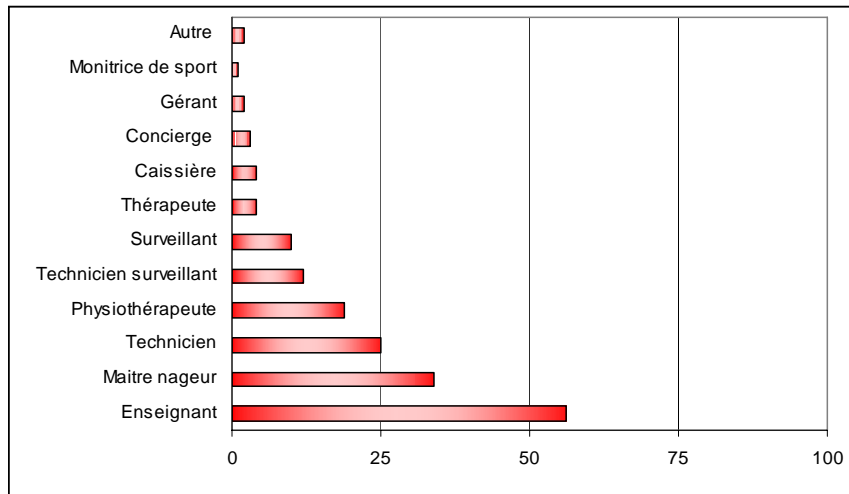


Figure 6 : nombre de répondants au questionnaire, selon la profession

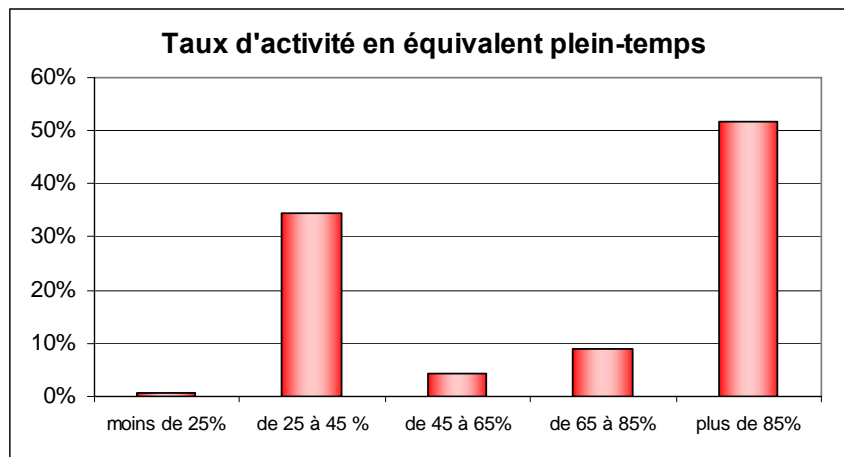


Figure 7 : répartition des taux d'activité annoncés par le personnel

Dans notre échantillon, 53% des personnes interrogées sont occupées à plus de 85% d'un équivalent plein-temps. Elles sont 34% à travailler à un taux d'occupation situé entre 25 à 45% d'un équivalent plein-temps.

5.3. Taux d'exposition à l'air contaminé par la trichloramine

Pour l'ensemble des personnes ayant répondu au questionnaire, le pourcentage du temps de travail passé dans une zone potentiellement contaminée par la trichloramine dans l'air a été recalculé (taux d'exposition). Cela était possible en combinant le taux d'occupation reporté avec le pourcentage annoncé du temps de travail passé autour des bassins. De plus, l'expérience acquise au cours de la visite des installations nous a convaincu que beaucoup des locaux techniques étaient également contaminés par la trichloramine, notamment ceux équipé d'un bassin tampon souvent ouvert (la majorité dans les piscines de natation publiques et scolaires). Au temps passé autour des bassins, nous avons donc rajouté le temps passé dans les locaux techniques.

Après traitement, 133 résultats sont utilisables. Cela représente le nombre de personnes de notre échantillon travaillant dans une zone potentiellement contaminée par la trichloramine. La comparaison avec les taux d'activité est représentée dans le graphique ci-après.

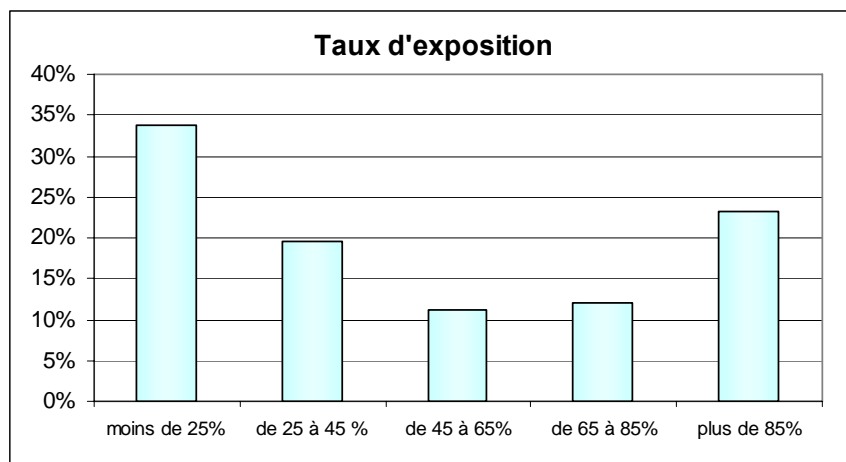


Figure 8 : taux d'exposition à la trichloramine

Alors que plus de la moitié de l'échantillon travaille à un taux d'occupation de plus de 85% (figure 7), moins du quart (23%) est exposé durant une durée de plus de 85% d'un équivalent plein-temps à une atmosphère pouvant contenir de la trichloramine (figure 8). A l'inverse, alors que très peu de personnes sont occupées à un taux de moins de 25% d'équivalent plein-temps, environ un tiers (34%) est exposé à de l'air potentiellement contaminé par de la trichloramine. Ces données seront utilisées dans le traitement des résultats ci-après avec des limites légèrement différentes afin de garantir un effectif suffisant dans les divers groupes exposés.

Il est encore plus intéressant de déterminer quelles sont les professions qui sont présentes dans les différents groupes exposés. On constate notamment que les caissières (attention : un seul cas utilisable pour le calcul dans notre échantillon), les concierges (n=2) et les thérapeutes (n=3) ne sont exposés qu'à moins de 25% d'un équivalent plein-temps à la zone potentiellement contaminée par la trichloramine. Chez les physiothérapeutes (n=16), les trois quarts (n=12) sont exposés à moins de 25%, le quart restant l'étant à moins de 45%. Chez les enseignants (n=30), un peu plus de la moitié est exposée durant moins de 25% (n=16) à l'air des piscines, et un sur huit est exposé durant plus de 85% d'un équivalent plein-temps (n=4). Plus de la moitié des surveillants (n=6) passent quant à eux leur temps de travail à plus de 85% d'équivalent plein-temps dans la zone potentiellement contaminée par la trichloramine. La situation chez les maîtres nageurs, les techniciens et les techniciens-surveillants est ventilée plus largement dans les différents groupes.

Si l'on considère le groupe des professionnels exposés à l'air des piscines durant moins de 10% d'un équivalent plein-temps, on retrouve la caissière, 14 enseignants (représentant 88% de tous les cas), 11 physiothérapeutes (soit 69% de tous les cas) et la totalité des thérapeutes (n=3). On peut donc considérer que ces professionnels, de manière générale, ne sont que sporadiquement exposés à un milieu potentiellement contaminé à la trichloramine.

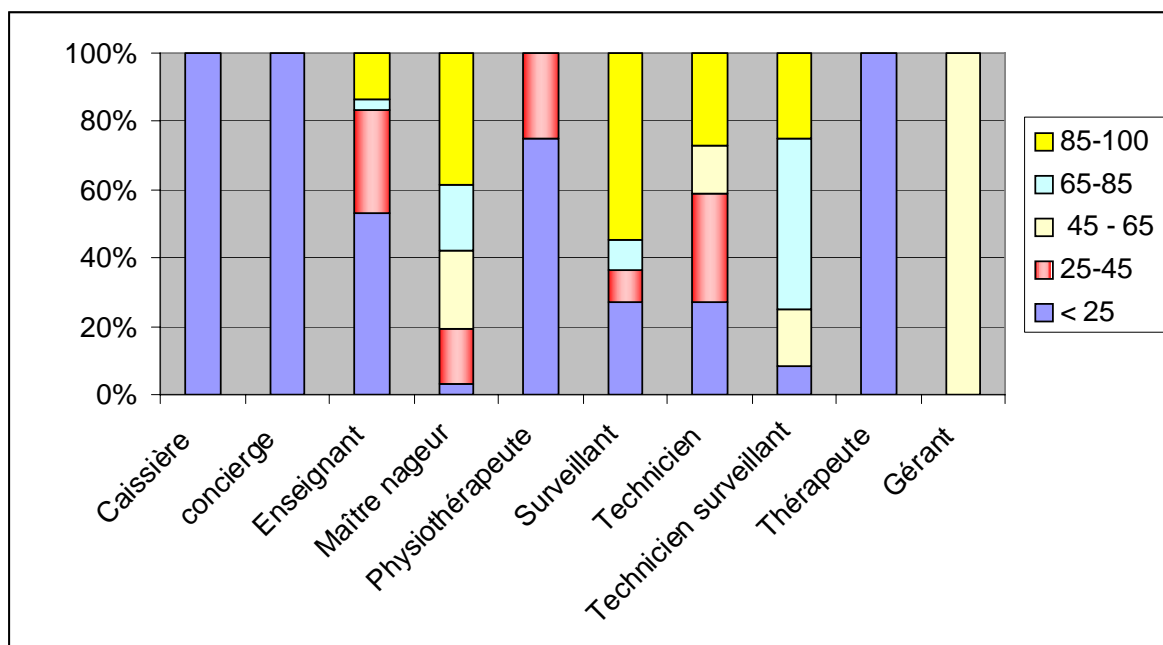


Figure 9 : taux d'exposition par professions

5.4. Groupe de contrôle

Le groupe de contrôle est constitué de personnes occupées dans différents services des administrations cantonales des cantons du Jura et de Fribourg. Il compte un total de 71 personnes dans lequel les hommes et les femmes sont répartis de manière égale. Le tiers de femmes est fumeur. Les deux tiers du groupe a entre 30 et 50 ans et les trois quarts des femmes sont situées dans cette tranche d'âge. Presque la totalité des hommes (94%) travaille à plein temps alors que la proportion n'est que de 33% chez les femmes.

	Femmes n (%)	Homme n (%)	Total n (%)
Sexe	33 (49)	34 (51)	67
Fumeur	8 (24)	7 (21)	15 (22)
Ancien fumeur	10 (30)	6 (18)	16 (24)
Âge			
<i>moins de 18 ans</i>	-	-	-
18 à 25 ans	1	1	2
26 à 35 ans	4	4	8
36 à 50 ans	25 (76)	17 (53)	42 (65)
<i>plus de 50 ans</i>	3 (9)	10 (31)	13 (20)
Total	33	32	65
Taux d'activité			
<i>moins de 49%</i>	3	-	3
50%	7	-	7
51 à 79%	7	2	9
80 à 99%	5	-	5
100%	11 (33)	33 (94)	44 (67)
Total	33	35	68

Tableau 7 : structure du groupe de contrôle

5.5. Résultats des mesures de trichloramine dans l'air

Le tableau ci-après présente les résultats des mesures de trichloramine dans les 30 établissements visités. En général, 4 échantillons ont été prélevés dans chacune des 30 piscines à l'exception de trois installations parmi lesquelles deux ont subi 5 échantillonnages et une, utilisée comme installations-test, a bénéficié de 32 échantillonnages utilisables. Pour une installation, un échantillon a été perdu lors de la manipulation. Les valeurs situées en dessous de la limite de quantification ($< 0.1 \text{ mg/l}$) ont été exclues du calcul de la moyenne. On peut constater les éléments suivants :

Les résultats sont caractérisés par une moyenne générale de 0.114 mg/m^3 avec un intervalle de confiance à 95% situé entre 0.071 et 0.157 mg/m^3 . La médiane de l'ensemble des résultats est située à 0.070 mg/m^3 avec un premier quartile à 0.038 mg/m^3 et un troisième quartile à 0.153 mg/m^3 .

Sur les 30 piscines, 18 (60%) ont une moyenne de concentration en trichloramine dans l'air inférieure à 0.1 mg/m^3 et huit (27%) ont une moyenne située entre 0.1 et 0.2 mg/m^3 . Les 4 dernières (13%) constituent le groupe des piscines avec la concentration moyenne en trichloramine la plus élevée, allant de 0.30 mg/m^3 à 0.52 mg/m^3 . Parmi ce dernier groupe, 3 installations sont situées entre 0.30 et 0.31 mg/m^3 , la quatrième (installation no. 12) étant située à un niveau bien plus élevée (0.52 mg/m^3).

Sur les 30 installations visitées, une seule atteint la valeur conseillée en France [Hery (a), Gagnaire (b)] de 0.5 mg/m^3 .

L'analyse descriptive des données (voir Figure 10 : Box plot sur toutes les moyennes de NCl_3) montre clairement que le niveau le plus élevé représente une situation particulière comparativement à l'ensemble des autres données. Cette mesure est largement au-delà du troisième quartile et de l'intervalle de confiance à 95%.

La situation des installations mesurées d'un point de vue des niveaux de trichloramine dans l'air est donc satisfaisante pour la plupart. Les quatre installations présentant des niveaux atteignant ou dépassant 0.3 mg/m^3 semblent plus problématiques, tout particulièrement l'installation no. 12 qui dépasse la valeur conseillée en France fixée à 0.5 mg/m^3 .

Piscine no	NCl ₃ dans l'air en mg/m ³				
	Moyenne	Stdv	Min	Max	Moy geom
1	0.05	0.03	0.01	0.09	0.03
2	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
3	0.30	0.03	0.26	0.34	0.30
4	0.16	0.05	0.11	0.22	0.15
5	0.14	0.07	0.09	0.24	0.12
6	0.12	0.06	0.07	0.21	0.10
7	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
8	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
9	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
10	0.09	0.04	0.09	0.09	0.09
11	0.04	0.02	0.02	0.06	0.04
12	0.52	0.13	0.31	0.87	0.42
13	0.31	0.11	0.23	0.50	0.30
14	0.09	0.05	0.07	0.10	0.08
15	0.07	0.06	0.03	0.15	0.06
16	0.07	0.03	0.04	0.10	0.06
17	0.04	0.03	0.02	0.09	0.03
18	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03
19	0.16	0.06	0.10	0.26	0.15
20	0.07	0.04	0.05	0.08	0.06
21	0.31	0.23	0.12	0.62	0.25
22	0.14	0.07	0.10	0.24	0.13
23	0.06	0.03	0.03	0.09	0.05
24	0.10	0.06	0.08	0.11	0.09
25	0.04	0.02	0.02	0.05	0.03
26	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02
27	0.20	0.10	0.12	0.33	0.18
28	0.17	0.04	0.13	0.20	0.17
29	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02
30	0.07	0.06	0.02	0.12	0.05

Tableau 8 : résultats des mesures de trichloramine dans l'air.

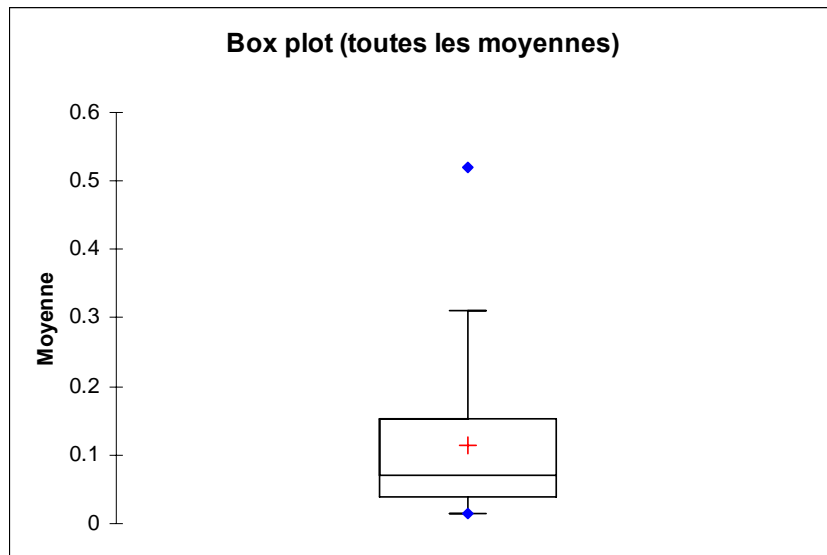


Figure 10 : Box plot sur toutes les moyennes de NCl_3

La valeur moyenne de concentration en trichloramine dans l'air obtenue pour l'installation no. 12 est nettement un outsider.

6. Résultats des analyses du questionnaire

6.1. Prévalence des plaintes dans les différents groupes

6.1.1. Prévalence des plaintes en fonction du niveau de trichloramine dans l'air.

L'objectif est de montrer comment évoluent les annonces de problèmes de santé relevées par questionnaire avec le taux de trichloramine mesuré dans les piscines. Pour ce faire, nous avons regroupé l'ensemble des données obtenues dans trois catégories distinctes (groupes d'exposition mesurée) :

- Groupe de contrôle (GC) : toutes les personnes constitutives du groupe de contrôle décrit au chapitre 5.3. ci-dessus. N = 71 dans 4 secteurs administratifs de 3 cantons.
- Groupe 1 : toutes les personnes occupées dans les piscines présentant un taux de trichloramine atmosphérique inférieur à 0.1 mg/m³. N = 102 dans 18 piscines. Dix des piscines de ce groupe ont un taux de trichloramine < 0.05 mg/m³.
Moyenne ± sd : 0.05 ± 0.02 mg/m³. Min : 0.02; Max : 0.09.
- Groupe 2 : toutes les personnes occupées dans les piscines présentant un taux de trichloramine situé entre 0.1 et 0.29 mg/m³. N = 61 dans 8 piscines.
Moyenne ± sd : 0.15 ± 0.03 mg/m³. Min : 0.10; Max : 0.20.
- Groupe 3 : toutes les personnes occupées dans les piscines présentant un taux de trichloramine atmosphérique égal ou supérieur à 0.3 mg/m³. N=20, 4 piscines.
Moyenne ±sd : 0.36 ± 0.11. Min : 0.30; Max : 0.52.

Ces groupes ont été définis en tenant compte de la répartition des résultats obtenus : aucun résultat n'est situé entre >0.2 et < 0.3 mg/m³.

	Groupe 1; N = 102		Groupe 2; N = 61		Groupe 3; N = 20		GC : N = 71	
	n (%)		n (%)		n (%)		n (%)	
	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois
Asthme	24 (24%)	5 (5%)	10 (18%)	2 (4%)	6 (32%)	4 (21%)	13(19%)	7 (10%)
Allergie	12 (12%)	9 (11%)	7 (13%)	3 (6%)	-	-	9 (13%)	3 (4%)
Irritation des yeux	26 (28%)	18 (19%)	6 (11%)	5 (9%)	6 (32%)	5 (26%)	9 (13%)	4 (6%)
Irritation de la gorge	16 (17%)	13 (14%)	4 (8%)	3 (6%)	4 (24%)	4 (23%)	14 (21%)	12 (18%)
Toux	15 (16%)	11 (12%)	5 (9%)	4 (7%)	4 (22%)	4 (22%)	13 (20%)	12 (18%)
Irritation du nez	21 (22%)	17 (18%)	6 (11%)	3 (6%)	10 (53%)	8 (42%)	14 (21%)	10 (15%)
Sinusite	13 (14%)	10 (11%)	5 (9%)	5 (9%)	3 (17%)	3 (17%)	10 (15%)	6 (9%)
Essoufflement	6 (7%)	6 (7%)	2 (3%)	2 (3%)	1 (6%)	1 (6%)	9 (13%)	9 (13%)
Douleurs au thorax	6 (7%)	5 (6%)	1 (2%)	1 (2%)	3 (17%)	3 (17%)	7 (10%)	6 (9%)
Problèmes de peau	26 (31%)	19 (23%)	13 (23%)	10 (18%)	7 (37%)	5 (26%)	12 (17%)	10 (15%)
Cumul des symptômes d'irritation	63 (23%)	48 (17%)	16 (10%)	11 (7%)	20 (36%)	17 (31%)	37 (18%)	26 (13%)

Tableau 9 : prévalences des plaintes en fonction de la concentration en NCl₃

On constate que la prévalence des symptômes d'irritation (irritation des yeux, de la gorge et du nez) augmente de manière nette lorsque le taux de trichloramine dans l'air atteint 0.3 mg/m³ (0.06 ppm) et plus. Cette progression est encore plus accentuée pour les irritations du nez quelle que soit la période considérée (passage de 13% dans le groupe 1 à 53% dans le

groupe 3). Dans les concentrations les plus basses, le passage d'une concentration moyenne de 0.05 mg/m³ (Groupe 1) à 0.15 mg/m³ (Groupe 2) ne semble pas avoir d'influence significative. Les mentions d'asthme sont fréquentes dans tous les trois groupes. La prévalence des symptômes d'irritation dans le groupe 1 est comparable à la prévalence des mêmes symptômes du groupe de contrôle. Par contre, elle est souvent plus élevée dans le groupe 3 comparativement au même groupe de contrôle.

Les problèmes de peau et d'asthme sont relativement importants, prioritairement dans le groupe 1. Cela pourrait être dû, notamment pour les problèmes de peau, au fait que de nombreux professionnels des piscines, outre leur fonction de surveillant ou de maître nageur, doivent également assurer des tâches de nettoyage faisant appel à des substances corrosives et donc avec risques de problèmes pour la peau.

L'asthme présente une prévalence relativement élevée dans le groupe 1, le moins exposé : le quart des répondants annonce présenter de l'asthme déjà avant les 12 mois précédents l'enquête. Curieusement, la mention 'asthme' apparaît avec une prévalence bien moindre chez les deux autres groupes (10, respectivement 2%). Cette information doit être interprétée avec une certaine prudence. En effet, aucune visite ni aucun contrôle médical n'était prévu dans le cadre du présent travail. Les annonces d'asthme n'ont donc pas été vérifiées médicalement. De plus, la prévalence du même symptôme dans le groupe de contrôle était de 19%.

Dans le questionnaire médical rempli, pour chaque symptôme mentionné, il était demandé au personnel s'il pensait que le symptôme mentionné était lié à son travail (absence ou diminution des symptômes en congé et/ou le soir). Les réponses obtenues sont résumées dans le tableau ci-après.

	Total des plaintes	Indication 'liée au travail'	Pourcentage	Pourcentage GC ¹⁾	p
Asthme	40	3	8%	0%	-
Allergie	19	3	16%	11%	0.371
Irritation des yeux	38	20	53%	22%	0.050
Irritation de la gorge	24	19	79%	7%	< 0.001
Toux	24	8	33%	0%	-
Irritation du nez	37	14	38%	7%	0.016
Sinusite	21	8	38%	0%	-
Essoufflement	9	3	33%	11%	0.128
Douleurs au thorax	10	6	60%	0%	-
Problèmes de peau	46	28	61%	8%	0.001
Cumul des symptômes d'irritation	99	53	54%	1%	< 0.001

Tableau 10 : pourcentage des plaintes reportées et considérées comme liées au travail

1) GC : groupe de contrôle

Il est frappant de constater que presque 80% des plaintes d'irritation de la gorge reportées sont indiquées comme étant liées au travail, alors que ce taux n'est que de 7% (1/14) dans le groupe de contrôle (p < 0.001). Les taux d'annonce de symptômes considérés comme liés au travail sont également très élevés (au-delà de 50%) pour les irritations des yeux (53%; p = 0.050) et pour les douleurs au thorax (60% mais avec un nombre limité de réponses; non

significatif) et de problèmes de peau ($p = 0.001$). Comme pour les irritations des yeux et de la gorge ainsi que pour les problèmes de peau, la somme des plaintes liées aux symptômes d'irritation est également très élevée et particulièrement significative (54%; $p < 0.001$). Ces résultats indiquent clairement une prévalence forte de plaintes d'irritation ressenties comme liées au travail (yeux, gorge et nez) ainsi que des problèmes de peau.

6.1.2 Odds ratio en fonction du niveau de trichloramine dans l'air.

L'Odds ratio (OR) ou rapport des cotes (RC) est l'évaluation de la force d'une association entre un possible facteur (exposition) et un résultat. Si l'exposition n'est pas liée à la maladie (ou à la plainte, au symptôme, etc...), le odds ratio est proche de 1. Si l'exposition est positivement liée à la maladie, sa valeur est supérieure à 1.

Les résultats obtenus pour chacun des trois groupes d'exposition mesurée sont comparés aux résultats obtenus avec le groupe de contrôle.

	Groupe 1; N = 102 OR (IC à 95%)		Groupe 2; N = 61 OR (IC à 95%)		Groupe 3; N = 20 OR (IC à 95%)	
	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois
Asthme	1.4 (.65-2.98)				2.0 (0.6-6.2)	2.4 (0.6-9.1)
Allergie		2.6 (0.7-10.0)		1.25 (0.2-6.5)		
Irritation des yeux		3.8 (1.2-11.8)*		1.6 (0.4-6.2)	3.0 (0.9-9.8)	5.6 (1.3-23.7)*
Irritation de la gorge					1.2 (0.3-4.1)	1.4 (0.4-5.1)
Toux					1.2 (0.3-4.2)	1.31 (0.4-4.7)
Irritation du nez		1.3 (0.6-3.0)			4.3 (1.5-12.6)*	4.2 (1.4-13.1)*
Sinusite		1.3 (0.4-3.7)			1.2 (0.3-4.8)	2.1 (0.5-9.4)
Essoufflement						
Douleurs au thorax					1.7 (0.4-7.4)	2.0 (0.5-9.1)
Problèmes de peau		1.7 (0.7-4.0)	1.4 (0.6-3.5)	1.3 (0.5-3.3)	2.8 (0.9-8.5)	2.1 (0.6-7.2)
Cumul des symptômes d'irritation		1.4 (0.8-2.4)			2.6 (1.3-4.9)*	3.03 (1.5-6.1)*

Tableau 11 : odds ratio pour les différents niveaux de NCl₃ mesurés (Groupes d'exposition mesurée vs groupe de contrôle).

* : statistiquement significatif ($p < 0.05$).

Afin de faciliter la lecture des résultats, le tableau ne mentionne que les résultats > 1.0 . Les OR statistiquement significatifs ($p < 0.05$) sont mentionnés en gras avec un *. L'intervalle de confiance est calculé selon Woolf à 95%. On constate que les intervalles de confiance sont relativement grands. Cela est dû aux effectifs réduits dans les différents groupes de stratification.

Le risque d'irritation des yeux augmente significativement lorsque la concentration en trichloramine passe de 0.05 mg/m³ (Groupe 1) à 0.36 mg/m³ (Groupe 3). Les odds ratio sont statistiquement significatifs dans les deux groupes pour les plaintes relatives aux 12 derniers mois d'exposition. L'odds ratio pour les irritations du nez est statistiquement significatif pour

le groupe 3 à la concentration la plus élevée. Ce n'est pas le cas pour les groupes à concentration plus faible. C'est le cas également pour le cumul des symptômes d'irritation (yeux, gorge et nez).

Enfin, bien qu'ils ne soient pas statistiquement significatifs, on constate que les OR mentionnés dans le Groupe 3 sont clairement au-delà de 1.0.

6.1.3. Odds ratio en fonction du taux d'exposition cumulée

En reprenant les taux d'exposition calculés selon la méthode indiquée ci-dessus, il est possible de recalculer les taux d'exposition cumulée en multipliant le taux d'exposition de chaque personne par la concentration en trichloramine mesurée dans la piscine correspondante. Pour faciliter la lecture, le résultat obtenu est multiplié par 100 :

Taux d'exposition cumulée : taux d'occupation x (pourcentage du temps
aux bassins + pourcentage du temps en
local technique) x concentration NCl₃
mesurée x 100.

Les données ainsi obtenues peuvent aussi être utilisées pour analyser les résultats des réponses au questionnaire.

Le calcul de l'indice d'exposition cumulé a été effectué en considérant que les taux de NCl₃ dans l'air des locaux techniques étaient identiques à ceux mesurés dans le bassin. Cette approximation permet les évaluations ci-après. Les erreurs qu'elle pourrait induire vont certainement une fois dans un sens (estimation trop élevée : cas de locaux techniques sans contact direct avec l'air du bassin tampon) et d'autres fois dans l'autre sens (estimation trop faible : cas d'un bassin tampon ouvert avec contact dans les locaux techniques). De tout évidence cependant, les employés techniques sont souvent appelés à réaliser des travaux de nettoyage qui, eux aussi, peuvent exposer plus ou moins fortement à la trichloramine. L'approximation peut ainsi être tolérée.

Au vu des résultats ainsi obtenus, nous avons constitué plusieurs groupes d'exposition cumulée :

Groupe A : toutes les personnes présentant un taux d'exposition cumulée (taux d'exposition x concentration moyenne en NCl₃ x 100) en dessous de 5. Effectif de ce groupe : 93 personnes. Moyenne ± sd : 1.8 ± 1.4 mg / m³.

Groupe B : toutes les personnes présentant un taux d'exposition cumulé en dessous de 10. Effectif de ce groupe : 110. Moyenne ± sd : 2.6 ± 2.2 mg x taux / m³

Groupe C : toutes les personnes présentant un taux d'exposition cumulé situé entre 5 et 10. Effectif de ce groupe : 22. Moyenne ± sd : 6.4 ± 1.2 mg x taux / m³

Groupe D : toutes les personnes présentant un taux d'exposition cumulé plus grand que 10. Effectif de ce groupe : 22. Moyenne ± sd : 22.8 ± 5.9 mg x taux / m³.

Groupe E : toutes les personnes présentant un taux d'exposition cumulé plus grand que 20. Effectif de ce groupe : 14. Moyenne ± sd : 28.8 ± 5.9 mg x taux / m³.

La constitution de groupes disposant d'effectifs identiques n'a donné aucun résultat concluant : le nombre de personnes relativement peu exposées (110 personnes en dessous d'un taux d'exposition cumulé de 10 sur un total de 133) est trop élevé. Une stratification avec des nombres de personnes identiques dans chaque groupe provoque une '*dilution*' de l'effet recherché.

Les résultats obtenus pour chacun des groupes d'exposition cumulée sont comparés aux résultats obtenus avec le groupe de contrôle (calcul du odds ratio).

Attention : le nombre de données disponibles est relativement limité. La puissance des résultats est considérablement amoindrie.

Le tableau ci-après présente l'ensemble des résultats. Afin de faciliter la lecture, ce tableau n'indique que les OR > 1.0. En gras avec un * sont mentionnées les OR qui sont statistiquement significatifs ($p < 0.05$). L'intervalle de confiance est calculé selon Woolf à 95%.

Tout en tenant compte des effectifs réduits dans les différents groupes, on peut constater que les odds ratio deviennent de plus en plus significatifs avec l'augmentation de l'exposition cumulée. Dans les deux groupes les plus élevés, les odds ratio obtenus sont élevés, notamment pour les symptômes d'irritation oculaire et d'irritation du nez. Le risque pour le cumul des symptômes d'irritation (yeux + nez + gorge) est également sensiblement plus élevé dans les groupes D et E par rapport aux résultats dans les autres groupes.

L'équivalent d'exposition cumulée pour ces deux groupes correspond en moyenne à une exposition de 40 heures à un taux de trichloramine de 0.10 à 0.39 mg/m³ (0.02 à 0.08 ppm) pour le groupe D et de 0.20 à 0.39 mg/m³ (0.04 à 0.08 ppm) pour le groupe E. Le groupe C, qui présente un risque plus faible sans aucun OR significatif, représente un équivalent d'exposition allant de 0.05 à 0.09 mg/m³ (0.01 à 0.02 ppm) pour une durée de 40 heures.

Sur la base de ces résultats, nous constatons que les irritations oculaires apparaissent quels que soient les taux d'exposition cumulée mais sont significatifs pour un niveau d'exposition équivalente (40h) situé entre 0.1 et 0.39 mg/m³ (Groupe D). Les irritations du nez et de la gorge sont également fréquentes, bien que dans une moindre mesure que les irritations des yeux. Le risque d'irritation du nez devient significativement différent pour un niveau d'exposition équivalent situé entre 0.2 et 0.39 mg/m³. Le cumul des fréquences d'annonce de ces symptômes irritatifs permet de montrer que le risque est significativement plus élevé pour la même gamme de concentration équivalente (0.1 à 0.39 mg/m³). A noter que les irritations des yeux et le cumul des symptômes irritatifs sont significatifs dans ces gammes que l'on tienne compte de toutes les plaintes reportées ou uniquement des plaintes relatives aux 12 derniers mois d'exposition. Pour le nez, bien que les OR obtenus soient élevés dans le groupe D, ils ne sont pas significatifs.

Ces résultats sont comparables aux résultats publiés en 1998 [Massin (a) et (b)].

	Groupe A OR (IC 95%)		Groupe B OR (IC 95%)		Groupe C OR (IC 95%)		Groupe D OR (IC 95%)		Groupe E OR (IC 95%)	
	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois
Asthme	1.1 (0.5-2.4)		1.2 (0.6-2.7)		1.2 (0.4-4.4)		1.7 (0.6-5.3)	2.1 (0.6-8.0)	2.7 (0.8-9.6)	2.7 (0.6-12.0)
Allergie			1.2 (0.5-2.9)		1.3 (0.3-5.5)	4.4 (0.8-23.6)				
Irritation des yeux	1.3 (0.5-3.2)	1.5 (0.4-5.5)	1.7 (0.7-4.0)	2.5 (0.7-9.4)			3.7 (1.2-11.2)*	5.9 (1.5-23.4)*	4.8 (1.4-17.2)*	6.3 (1.4-29.3)*
Irritation de la gorge				2.8 (0.9-8.9)			1.3 (0.4-4.1)	1.2 (0.3-4.0)	1.7 (0.5-6.3)	1.4 (0.3-5.6)
Toux					1.19 (0.3-4.2)				1.3 (0.3-5.2)	
Irritation du nez				1.1 (0.5-2.7)			2.7 (1.0-7.5)	2.7 (0.9-8.3)	5.1 (1.5-17.3)*	4.4 (1.2-15.2)*
Sinusite				1.5 (0.6-4.2)			1.4 (0.3-6.1)	1.8 (0.4-7.7)		1.9 (0.3-10.7)
Essoufflement										
Douleurs au thorax								1.7 (0.4-7.5)	1.6 (0.3-8.5)	1.9 (0.3-10.4)
Problèmes de peau	1.23 (0.5-2.9)		1.9 (0.9-4.0)	1.6 (0.7-3.6)	1.8 (0.6-6.1)	1.7 (0.5-6.2)	2.4 (0.8-7.1)	1.8 (0.6-6.2)	3.6 (1.0-12.2)*	2.4 (0.6-9.0)
Cumul des symptômes d'irritation			1.1 (0.7-1.7)	1.2 (0.7-2.0)			2.3 (1.3-4.4)*	2.5 (1.2-4.9)*	3.5 (1.7-7.1)*	3.1 (1.5-6.8)*

Tableau 12 : odds ratio pour les différents taux d'exposition cumulée (groupes d'exposition cumulée vs groupe de contrôle).

*: statistiquement significatif ($p < 0.05$).

Remarque : certains intervalles de confiance à 95% sont très larges en raison du faible effectif dans les différents groupes.

6.1.4. Plaintes par profession

En regroupant les répondants au questionnaire par profession, il est possible de recalculer la prévalence des différentes plaintes ainsi que les odds ratio pour les différentes professions rencontrées dans les établissements visités. Les deux tableaux ci-après donnent un aperçu général des résultats obtenus.

Les caissières n'apparaissent dans aucun des tableaux en raison de leur très faible nombre (4) issues toutes de la même piscine.

Dans le tableau des odds ratio, nous avons renoncé à faire apparaître les surveillants en raison du faible effectif dans le groupe (n=12). Dans ce même tableau, afin de faciliter la lecture, nous n'avons introduits que les OR > 1. On peut constater une augmentation statistiquement significative des risques d'irritation oculaire pour les maîtres nageurs. Le risque est également statistiquement significatif pour les problèmes de peau tant chez les maîtres nageurs que chez les physiothérapeutes. Les risques sont presque inexistantes chez les enseignants, lesquels sont d'ailleurs relativement peu à la piscine puisqu'ils présentent une durée hebdomadaire moyenne de présence dans la zone de 5,7 heures alors qu'elle est de presque 25 heures chez les surveillants et les maîtres nageurs, 20 heures chez l'ensemble des techniciens et seulement 8,5 heures chez les physiothérapeutes ayant répondu à notre questionnaire.

Les symptômes liés à la peau sont très présents y compris avec des OR statistiquement significatifs, sauf chez les techniciens.

En ajoutant les surveillants au groupe des maîtres nageurs (l'exposition est comparable), l'odds ratio est identique et significatif pour l'irritation des yeux pour toutes les plaintes : 2.7 (1.0 – 7.0) et pour les plaintes concernant les 12 derniers mois : 5.3 (1.6 – 17.8). L'odds ratio des symptômes d'allergie pour les 12 derniers mois est également statistiquement significatif : 3.5 (0.8-15.6).

Le tableau des prévalences montre d'ailleurs que les enseignants (qui sont donc peu souvent à la piscine) ne se plaignent que très peu des symptômes proposés et les prévalences répertoriées sont nettement plus basses que celles relevées au sein du groupe de contrôle. La prévalence des plaintes chez les surveillants est par contre très élevée pour de nombreux symptômes. Chez les maîtres nageurs, surveillants et les techniciens (professions exposées le plus longtemps à l'air des piscines à raison de 25, respectivement 20 heures hebdomadaires), les plaintes d'irritation des yeux et du nez sont élevées comparativement aux autres groupes. Les physiothérapeutes, qui ne sont exposés qu'à raison de 9 heures hebdomadaires à l'air des piscines, présentent la prévalence la plus élevée pour les irritations du nez et de la peau.

	Enseignants n = 58		Maîtres nageurs n = 35		Physiothérapeutes n = 21		Techniciens + Techniciens-surveillants n = 37	
	OR (IC 95%)		OR (IC 95%)		OR (IC 95%)		OR (IC 95%)	
	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois
Asthme					2.2 (0.7-6.4)		2.1 (0.8-5.2)	
Allergie			1.3 (0.4-4.3)	4.3 (1.0-19.5)	1.9 (0.5-7.0)	4.3 (0.8-23.7)		1.4 (0.2-8.5)
Irritation des yeux		1.2 (0.3-5.2)	2.7 (1.0-7.4)*	4.9 (1.3-17.5)*	2.8 (0.8-9.1)	3.9 (0.9-17.4)		2.0 (0.5-8.4)
Irritation de la gorge								
Toux								
Irritation du nez			1.5 (0.6-3.9)	1.4 (0.5-4.2)	2.9 (1.9-8.2)*	2.3 (0.7-7.4)		1.2 (0.4-3.6)
Sinusite					2.1 (0.6-7.2)	1.2 (0.2-6.7)		1.5 (0.4-5.5)
Essoufflement								
Douleurs au thorax							1.2 (0.3-4.4)	1.4 (0.4-5.4)
Problèmes de peau	1.2 (0.5-3.0)	1.15 (0.4-3)	2.6 (1.6-9)*	2.1 (0.7-5.8)	5.3 (1.7-16.7)*	3.2 (1.0-10.7)*		1.3 (0.4-4.0)
Cumul des symptômes d'irritation			1.4 (0.8-2.6)	1.5 (0.8-2.9)	1.8 (0.9-3.5)	1.6 (0.7-3.4)		1.2 (0.6-2.3)

Tableau 13 : odds ratio par professions vs groupe de contrôle

* : *statistiquement significatif* ($p < 0.05$)

Remarque : les intervalles de confiance à 95% sont très larges (notamment dans le groupe des physiothérapeutes) en raison de l'effectif réduit dans les différents groupes.

	Enseignants		Maîtres-nageurs		Physiothérapeutes		Surveillants		Techniciens et techniciennes surveillants		Groupe de contrôle	
	[%] N = 55-63		[%] N= 30-35		[%] N=18-21		[%] N = 6-10		[%] N = 32-37		[%] N = 67 - 69	
	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois	Toutes les plaintes	Durant les 12 derniers mois
Asthme	18	5	15	6	33	5	22	11	32	11	19	10
Allergie	5	2	17	17	22	17	0	0	12	6	13	4
Irritation des yeux	9	7	29	24	30	20	30	30	11	11	13	6
Irritation de la gorge	3	3	13	10	11	6	30	30	16	16	21	18
Toux	2	2	16	13	15	10	40	30	11	11	19	18
Irritation du nez	4	4	29	20	43	29	30	30	17	17	21	15
Sinusite	8	8	9	9	26	11	30	30	12	12	14	9
Essoufflement	0	0	10	10	0	0	22	22	6	6	13	13
Douleurs au thorax	2	2	9	6	0	0	30	30	12	12	10	9
Problèmes de peau	20	16	35	26	53	35	40	30	18	18	17	14
Cumul des symptômes d'irritation	5	5	24	18	29	19	30	30	15	15	15	15

Tableau 14 : prévalence des symptômes annoncés par professions

Aucune corrélation entre les symptômes annoncés (prévalence et OR) et la durée moyenne de présence dans les piscines n'a pu être mise en évidence. Un calcul de la dose moyenne de NCl_3 par profession n'a pas permis non plus de mettre en évidence une corrélation acceptable avec les symptômes annoncés (prévalence et OR).

En ce qui concerne l'asthme, on peut constater que les OR sont d'une part relativement bas et que, d'autre part, ils ne sont jamais statistiquement significatifs. On peut en conclure que les problèmes relatifs à l'asthme doivent être traités par le biais d'un questionnaire médical rempli avec la participation d'un médecin du travail. Dans le cas contraire, les données ne sont pas utilisables.

7. Trichloramine dans l'air : autres résultats

7.1 Mesures de la trichloramine dans l'air à différentes hauteurs

Afin d'évaluer dans quelle mesure la contamination en trichloramine dans l'air varie avec l'éloignement de la surface de l'eau, nous avons réalisé des prélèvements simultanés à deux hauteurs caractéristiques au-dessus du niveau de l'eau d'un bassin.

Le système de prélèvement était constitué d'une caisse à fruit en sagex dans laquelle étaient placées les pompes de prélèvement. Sur la caisse était fixé un système permettant d'échantillonner l'air à 16 cm, respectivement 130 cm au-dessus du niveau de l'eau du bassin. La caisse était fixée à une ligne de flottaison située au milieu du bassin.

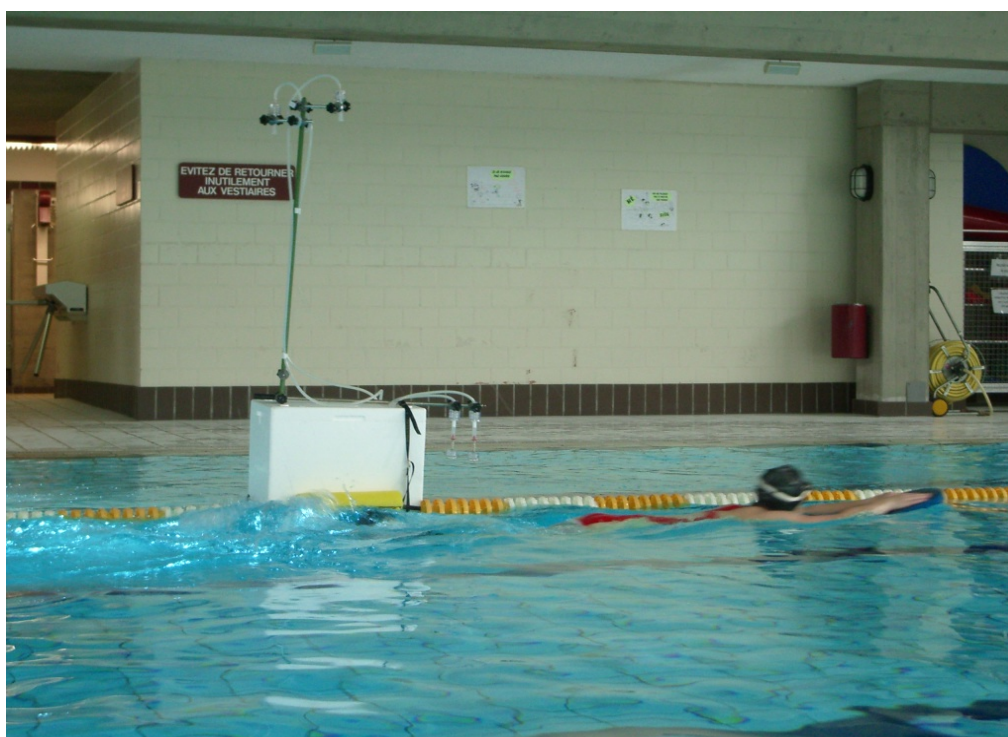


Figure 11 : échantillonnage au milieu du bassin

Les prélèvements ont été réalisés simultanément le 21 mai 2008, en double à chaque hauteur (trois fois 2 heures de prélèvements). Les résultats obtenus sont présentés au tableau no. 15 ci-après.

Même si la différence entre les deux moyennes est significativement différente (test t unilatéral à gauche (moyenne 16 cm – moyenne 130 cm > 0); niveau de signification à 95% ; $p = 0.178$), le nombre de mesures n'est pas suffisant pour tirer des conclusions définitives d'autant plus que la concentration moyenne à 130 cm ($0.26 \pm 0.07 \text{ mg/m}^3$) est supérieure à la concentration moyenne mesurée à 16 cm ($0.23 \pm 0.05 \text{ mg/m}^3$).

Un test statistique passant par la régression log-normale (IHSTAT) permet de vérifier que l'ensemble des résultats appartient bien à la même répartition. Les mesures ne montrent donc pas une différence significative de concentration en trichloramine entre les deux hauteurs.

Certaines publications annoncent des variations selon la hauteur d'échantillonnage au-dessus du bassin [Badinier]. D'autres annoncent exactement le contraire [Charlier, Hamel, Jacobs]. Nous sommes d'avis que la situation ne peut pas être similaire dans toutes les installations en raison des nombreux facteurs influençant la concentration de trichloramine dans la halle.

	Hauteur sur l'eau	NCI3 [mg/m3]
Mesure 1	16 cm	0.26
	16 cm	0.31
	130 cm	0.26
	130 cm	0.25
Mesure 2	16 cm	0.24
	16 cm	0.20
	130 cm	0.38
	130 cm	0.28
Mesure 3	16 cm	0.19
	16 cm	0.17
	130 cm	0.20
	130 cm	0.20

Tableau 15 : mesure de NCl₃ à différentes hauteurs

7.2. Mesures de la trichloramine lors d'une manifestation sportive

A des fins de comparaison, nous avons effectué des mesures de trichloramine atmosphérique dans l'installation numéro 14 alors qu'elle abritait les championnats cantonaux de natation. De très nombreux sportifs participent à de telles manifestations. L'agitation de l'eau est maximale pour un bassin public de natation.

La concentration atmosphérique en trichloramine mesurée lors de l'utilisation habituelle était située, dans la halle de natation, à 0.09 mg/m³ (n = 2 (2 valeurs étaient en dessous de la limite de quantification) ; min : 0.07 ; max : 0.10) pour une occupation moyenne de 10 nageurs. Lors des championnats de natation, la concentration en trichloramine était située à 0.04 ± 0.01 mg/m³ (n=4 ; min : 0.02 ; max : 0.05) pour une occupation moyenne de plus de 40 nageurs. Il n'y a donc pas de différence. La situation dans cette installation semble être bien maîtrisée.

7.3 Variabilité au cours de la journée

Les mesures obtenues lors du test de la méthode d'échantillonnage permettent de vérifier si, pour l'installation considérée, une différence significative existe entre les résultats du matin et ceux de l'après-midi.

Un test statistique passant par la régression log-normale (IHstat) permet de vérifier que l'ensemble des résultats obtenus appartient à la même répartition. Les mesures ne montrent donc pas une différence significative de concentration en trichloramine entre le matin et l'après-midi dans le cas de cette installation.

8. Résultats des mesures dans les eaux de baignade

Les résultats généraux sont donnés au tableau ci-après. Afin de faciliter les comparaisons, le tableau mentionne les taux moyens de trichloramine dans l'air de la piscine concernée.

En terme de régression linéaire, les coefficients de corrélation obtenus entre les valeurs de trichloramine et chacune des variables explicatives disponibles (THM, Urée, DOC, chlore libre, chlore combiné, chlore total, nombre de baigneurs, surface du grand bassin et volume de la halle) étaient tous extrêmement faibles et non significatifs (le meilleur étant, pour l'urée à $R^2 = 0.073$; $p=0.193$). La valeur de chlore libre obtenue pour la piscine no. 26 semble être un outsider (voir chapitre 9.2 ci-après). Après l'avoir exclue, la régression obtenue Urée / NCl_3 n'est pas meilleure et non significative ($R^2 = 0.079$). L'exclusion des outsiders 'trichloramine de l'installation no. 12' et 'chlore libre' de l'installation no. 26 ne donne pas de résultats significativement différents.

Piscine	Cl libre [mg/l]	Cl combiné [mg/l]	THM [$\mu\text{gCHCl}_3/\text{l}$]	DOC [mg/C/l]	Urée [mg/l]	NCl_3 air [mg/m^3]	Type
1	0.51	0.08	15	0.76	0.084	0.05	natation
2	0.33	0.22	33	1.4	0.224	0.02	scolaire
3	0.46	0.24	49	1.3	1.28	0.30	scolaire
4	0.67	0.73	104	4.2	0.707	0.16	thérapeutique
5	0.2	0.42	15	2	0.525	0.14	scolaire
6	0.4	0.34	18	2.4	0.36	0.12	natation
7	0.33	0.44	111	3	0.65	0.02	scolaire
8	0.5	0.2	41	1.3	0.19	0.03	scolaire
9	0.35	0.18	17	1.1	0.17	0.02	natation
10	0.52	0.2	50	1.2	0.27	0.09	thérapeutique
11	0.37	0.4	-	-	-	0.04	natation
12	0.64	0.35	62	2.8	0.86	0.52	natation
13	0.34	0.11	18	0.95	0.24	0.31	thérapeutique
14	0.18	0.28	8.1	0.67	0.07	0.09	natation
15	0.56	0.17	34	0.89	0.16	0.07	scolaire
16	0.35	0.28	44	1.8	0.72	0.07	natation
17	0.12	0.23	48	2	1.03	0.04	thérapeutique
18	0.45	0.05	29	0.66	0.049	0.03	thérapeutique
19	0.52	0.61	84	4.3	0.14	0.16	thérapeutique
20	0.32	0.14	25	0.89	0.224	0.07	thérapeutique
21	0.73	0.1	12	1.1	0.42	0.31	loisirs
22	0.05	0.48	35	2.5	2	0.14	thérapeutique
23	0.34	0.1	11	0.4	0.14	0.06	thérapeutique
24	0.02	0.43	-	-	-	0.10	scolaire
25	0.39	0.58	57	3.6	1.1	0.04	thérapeutique
26	1.53	0.22	-	-	-	0.02	scolaire
27	0.15	0.46	19	2.2	0.239	0.20	natation
28	0.19	0.28	15	1.3	0.641	0.17	natation
29	0.48	0.34	29	2.1	0.484	0.02	natation
30	0.97	0.18	53	2.8	0.04	0.07	thérapeutique

Tableau 16 : résultats des mesures dans l'eau

Plusieurs régressions linéaires multivariées ont également été testées. Les meilleures mises en évidence sont la régression linéaire multivariée avec THM / Urée et DOC avec un coefficient de corrélation calculé $R^2 = 0.108$ et $p=0.482$. Ainsi, seuls environ 11% de la variation de la concentration de trichloramine dans l'air pourrait être expliquée par ce modèle. La régression linéaire multivariée avec chlore libre et le nombre de baigneurs donne un coefficient de corrélation calculé $R^2 = 0.261$ et $p=0.174$. Cette combinaison (non significative) permet donc d'expliquer environ le quart de la variation de la concentration en trichloramine dans l'air.

En effectuant des régressions linéaires ainsi que des régressions linéaires multivariées, il n'a pas été possible de trouver une corrélation acceptable entre les taux mesurés de trichloramine dans l'air avec l'une ou l'autre combinaison des variables descriptives relevées.

8.1. Moyennes par type de piscine.

Nous avons voulu tester si la variable 'piscine' explique les différences entre les moyennes obtenues pour chaque variable de la catégorie. Pour effectuer ces tests (ANOVA), nous avons exclu la donnée relative à la piscine classée dans la catégorie 'piscine ludique', cette piscine (no. 21) étant la seule dans sa catégorie.

	Natation			Scolaire			Thérapeutique		
	<i>n</i>	<i>moy</i>	<i>sd</i>	<i>n</i>	<i>moy</i>	<i>sd</i>	<i>n</i>	<i>moy</i>	<i>sd</i>
NCI3 (air)	10	0.13	0.15	8	0.08	0.10	11	0.11	0.08
Chlore libre	10	0.36	0.16	8	0.49	0.45	11	0.25	0.25
Chlore combiné	10	0.30	0.11	8	0.29	0.12	11	0.31	0.24
THM	9	25.2	17.2	6	47.2	33.2	11	46.7	28.0
DOC	9	1.7	0.8	6	1.6	0.8	11	2.1	1.4
Urée	9	0.40	0.29	6	0.50	0.43	11	0.54	0.62

Tableau 17 : résultats par catégories de piscines

A noter que la déviation standard obtenue pour la catégorie des piscines de natation varie fortement si l'on supprime les données de la piscine no. 12, clairement un outsider (voir Figure 10 : Box plot sur toutes les moyennes de NCI3). La moyenne calculée est alors égale à $0.08 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$.

L'analyse de variance (ANOVA) sur ces données montre que les différences obtenues entre les moyennes pour les trois types de piscine (natation / scolaire / thérapeutique) pour chacune des variables dépendantes ne sont pas significatives (intervalle de confiance à 95%, tolérance à 0.05).

8.2. Qualité des eaux de baignade : commentaires

En Suisse, la qualité des eaux de baignades est fixée dans la norme SIA 385/1 [SIA]. Les valeurs normatives en la matière sont données dans le tableau ci-après :

Paramètre	Unité	Valeur de référence	Valeur tolérable	Remarque
pH	-	7.0 - 7.4	6.8 - 7.6	
Chlore libre	[mg/l]	0.2 - 0.4	0.1 - 0.8	La valeur de référence doit être garantie dans l'eau traitée
Chlore combiné	[mg/l]	0.2	0.3	
THM	[µg/l]	≤ 30	-	En tant que chloroforme
Urée	[mg/l]	≤ 1.0	-	

Tableau 18 : valeurs limites pour la qualité des eaux des piscines couvertes (CH)

Les mesures effectuées dans les 30 installations sont résumées aux tableaux 16 et 17 ci-dessus. Pour les normes applicables en la matière, la valeur de référence est considérée comme une valeur souhaitable par les auteurs de la norme SIA 385/1. La valeur tolérable est la valeur pour laquelle des mesures doivent être prises lorsqu'elle n'est pas atteinte, respectivement qu'elle est dépassée.

En ce qui concerne les moyennes, on peut constater les éléments suivants :

Chlore libre : la moyenne obtenue pour les 8 installations scolaires ($0.49 \pm 0.45 \text{ mg/m}^3$) est au-delà de la valeur de référence qui ne doit pas dépasser 0.4 mg/m^3 . Certaines des piscines scolaires ont un niveau de chlore libre très élevé, notamment la piscine no. 26 avec 1.53 mg/l qui est au double du maximum de la valeur tolérable. Cette valeur est vraisemblablement un outsider dû à une possible erreur de manipulation. En retirant cette donnée, la moyenne passe à 0.34 mg/l et une seule installation dépasse la valeur tolérable. Au total, sur l'ensemble des piscines, 13 installations (43%) dépassent la valeur de référence, respectivement 12 sans l'outsider.

Chlore combiné : la valeur de référence de 0.2 mg/l est systématiquement dépassée par les moyennes calculées pour chaque type de piscine. Les piscines 'natation' atteignent la valeur tolérable de 0.3 mg/l . La moyenne calculée pour les piscines thérapeutiques dépasse cette valeur (0.31 mg/l). Cette situation n'est évidemment pas satisfaisante d'autant plus que 19 piscines (63%) dépassent la valeur de référence et 12 (40%) la valeur tolérable.

THM : la situation des trihalométhanes dans l'eau des piscines couvertes visitées est encore plus préoccupante. En effet, la moyenne calculée pour 6 piscines scolaires s'élève à $47.2 \pm 33.2 \text{ µg/l}$ et dépasse ainsi de plus de 50% la valeur de référence. Parmi elles, une seule respecte la norme! Pour les 11 piscines thérapeutiques visitées, la situation est identique puisque la moyenne mesurée en THM dans l'eau est de $46.7 \pm 28.0 \text{ µg/l}$. Seules 4 installations thérapeutiques sur 11 (soit tout juste un tiers) respectent la norme. La situation des piscines 'natation' est meilleure puisque la moyenne des 9 piscines pour lesquelles nous disposons d'un résultat est égale à $25.2 \pm 17.2 \text{ µg/l}$. Seules 2 piscines sur les 9 mesurées dépassent la valeur de référence. En matière de THM, à côté du chloroforme, du bromodichlorométhane a également été détecté dans tous les échantillons ($n=27$) ; sa concentration ne dépasse cependant pas 2.7 µg/l (piscine no. 15). Du dibromochlorométhane a également été détecté à six reprises mais dans des quantités moindres. Une particularité pour la piscine no. 15 où des traces de perchloréthylène ont été détectées à hauteur de 0.19 µg/l . Ces traces sont d'origine connue et proviennent de l'eau potable dont la source est contaminée.

Urée : seules 4 piscines sur 27 (15%) dépassent la valeur de référence, soit 3 piscines thérapeutiques (no. 17, 22 et 25) et la piscine scolaire no. 3. La piscine numéro 22 a été mesurée au double de la valeur de référence.

DOC : il n'existe aucune valeur limite imposée pour le DOC dans les eaux de baignades. Nous avons tout de même mesuré ce paramètre, notre objectif étant de rechercher une corrélation avec les taux de trichloramine atmosphérique. Sans succès. La révision en cours de la norme SIA prévoit l'introduction d'une valeur limite pour ce paramètre.

pH : 12 piscines (40%) dépassent la limite supérieure de la valeur de référence pour le pH. Le maximum mesuré par nos soins était de 7.72 (piscine no. 24).

L'analyse descriptive des résultats obtenus est résumée dans le tableau ci-après.

Statistique	CI libre	CI combiné	THM	DOC	UREE
Nombre de valeurs	30	30	27	27	27
Minimum	0.02	0.05	8.1	0.4	0.04
Maximum	1.53	0.73	111.0	4.3	2.0
1er Quartile	0.323	0.180	17.500	1.025	0.165
Médiane	0.380	0.260	33.000	1.400	0.270
3ème Quartile	0.518	0.415	49.500	2.450	0.679
Moyenne	0.432	0.295	38.374	1.838	0.482
Variance (n)	0.082	0.027	712.527	1.114	0.203
Variance (n-1)	0.085	0.028	739.932	1.157	0.211
Ecart-type (n)	0.287	0.166	26.693	1.055	0.450
Ecart-type (n-1)	0.292	0.169	27.202	1.076	0.459
Ecart-type de la moyenne	0.053	0.031	5.235	0.207	0.088
Borne inf. de la moyenne (95%)	0.323	0.232	27.613	1.412	0.301
Borne sup. de la moyenne (95%)	0.541	0.358	49.135	2.263	0.664
Moyenne géométrique	0.336	0.247	30.509	1.550	0.310
Ecart-type géométrique	2.321	1.901	2.010	1.842	2.761

Tableau 19 : statistique descriptive des résultats d'analyse d'eau

Les graphiques ci-après donnent une vision de la situation de la qualité de l'eau des piscines visitées.

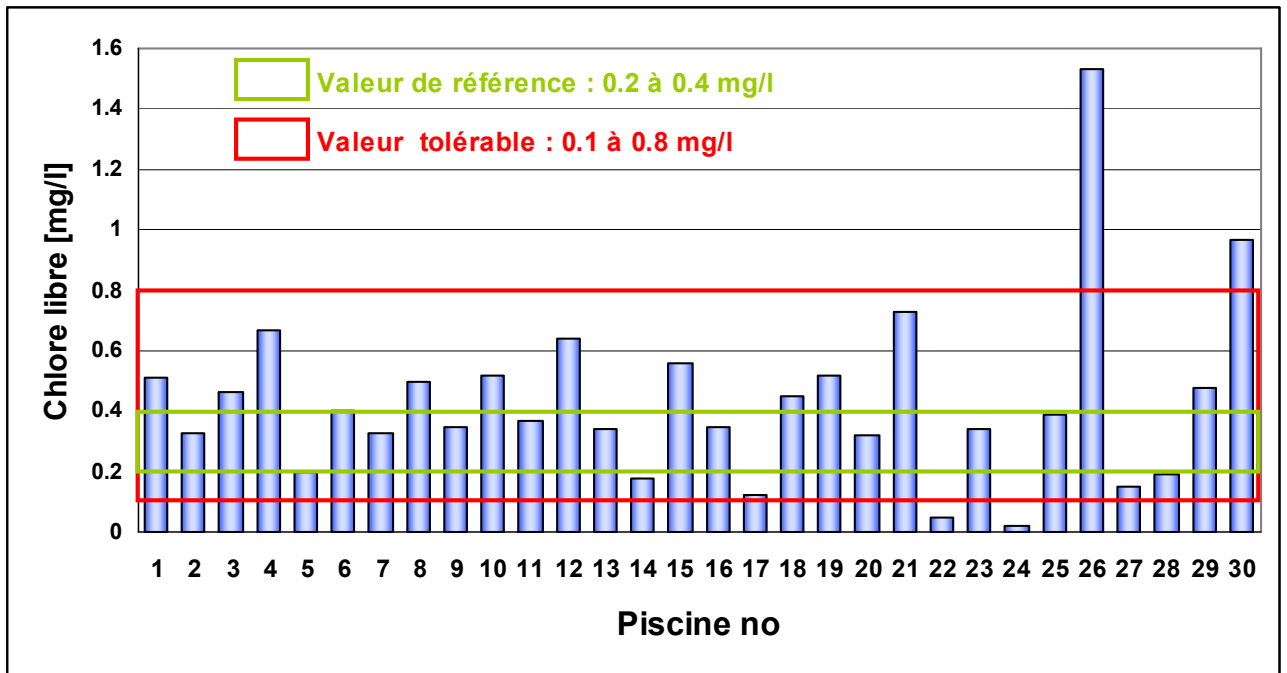


Figure 12 : valeurs mesurées de chlore libre dans les eaux de baignade

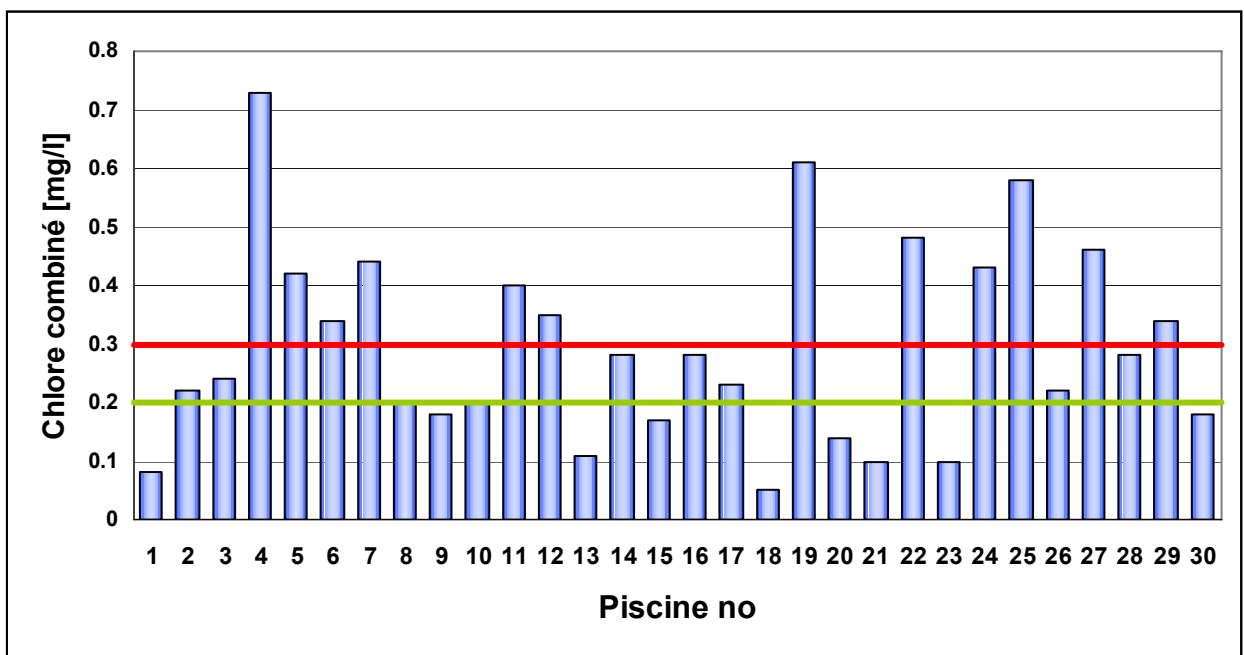


Figure 13 : valeurs mesurées de chlore combiné dans les eaux de baignade

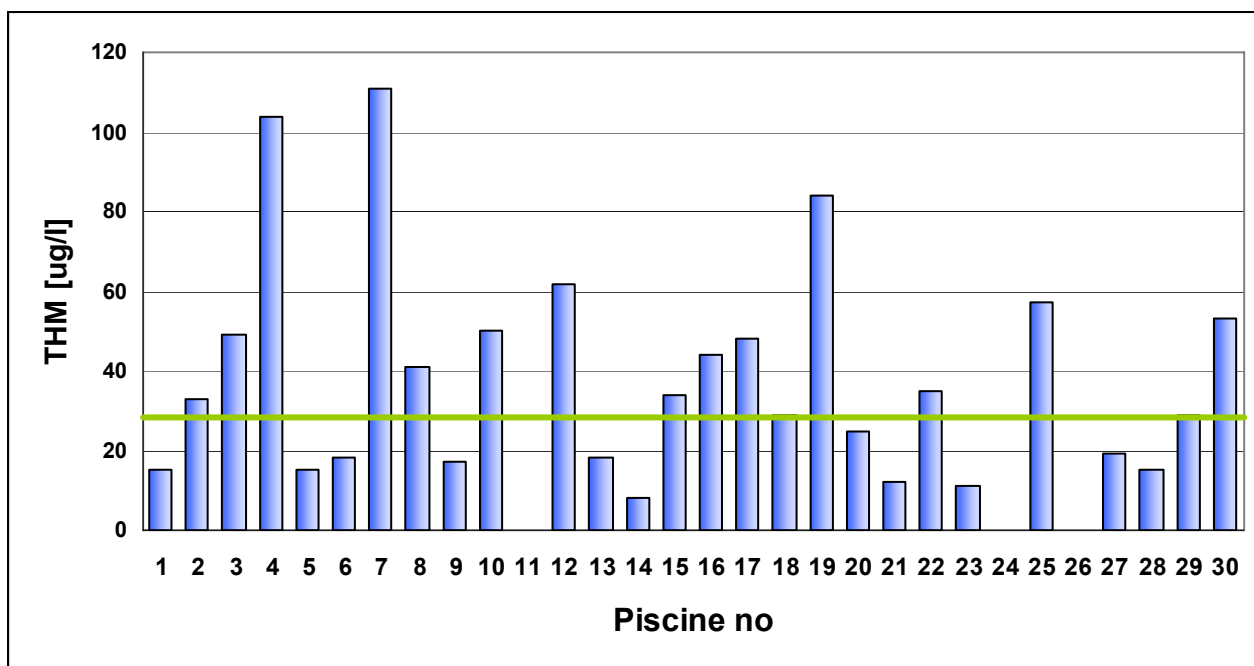


Figure 14 : valeurs mesurées de trihalométhanes dans les eaux de baignade

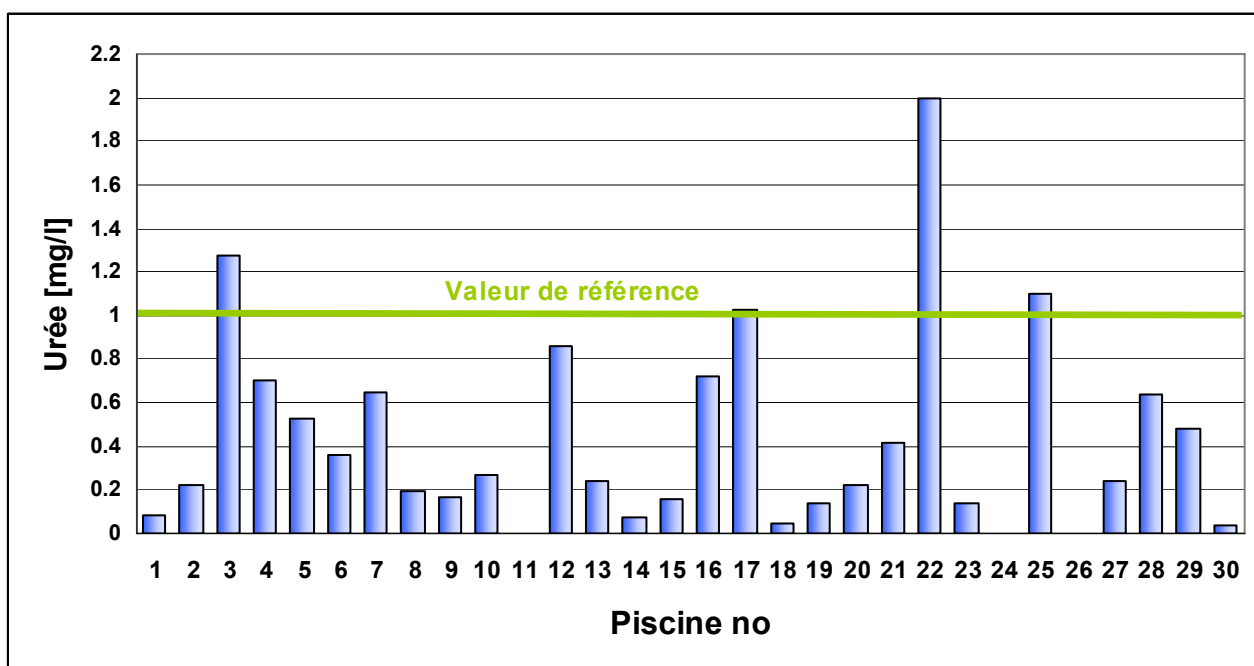


Figure 15 : valeurs mesurées d'urée dans les eaux de baignade

Remarque : nous ne disposons d'aucun résultat de THM, DOC et urée pour les installations no. 11, 24 et 26.

En conclusion, la qualité chimique des eaux de baignade dans bon nombre des installations visitées n'est absolument pas satisfaisante. Ces résultats doivent être comparés à d'autres résultats en provenance d'autres installations. Des mesures devront être prises pour améliorer la situation, piscine par piscine. Les spécialistes du sujet (chimiste cantonaux) ont du pain sur la planche!

9. Autres résultats

9.1. Température de l'air et de l'eau et hygrométrie

Les températures de l'eau du bassin principal et de l'air ont été relevées. Le tableau ci-après donne un aperçu des résultats groupés par type de piscine :

	Température de l'eau [°C] ± sd	Température de l'air [°C] ± sd	Humidité relative [%]
Piscine 'natation'	27.8 ± 0.9	29.3 ± 1.6	48.4 ± 12
Piscines scolaires	28.2 ± 2.1	28.6 ± 1.5	50.4 ± 10.7
Piscines thérapeutiques	31.2 ± 2.2	29.9 ± 2.6	52.6 ± 9.0

Tableau 20 : températures moyennes et hygrométrie par type de piscine

Une constatation intéressante : pour les piscines scolaires, la différence entre la température moyenne de l'eau et de l'air est quasiment nulle. Ainsi, le gradient thermique ne devrait jouer qu'un rôle négligeable sur la dispersion des polluants gazeux au-dessus de la surface du bassin.

Les valeurs sont dans l'ordre de grandeur des objectifs fixés par la directive 2004-1F de la Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation (2005). Cette norme indique des valeurs indicatives pour les piscines couvertes (p. 12) : la température des bassins de natation doit être située entre 27 et 28 °C.

9.2. Comparaison des résultats de chlore libre et de chlore combiné

Les résultats des mesures de chlore libre et de chlore combiné conduites par nos soins ont été comparés aux mesures réalisées par les exploitants le même jour. A noter qu'à plusieurs reprises, les exploitants ont effectué la mesure en même temps que celle réalisée par nos soins. Les comparaisons ont été conduites par régression linéaire.

Les résultats sont les suivants (les données manquantes sont dues à l'absence de résultats dans plusieurs exploitations) :

	N	R ²	p	Remarques
Chlore libre résultat LIST vs résultats exploitants	24	0.188	0.034	La corrélation est mauvaise
Idem moins outsider (voir figure ci-après)	23	0.688	< 0.0001	La corrélation est meilleure.
Chlore combiné : résultats LIST vs résultats exploitants	19	0.387	0.004	La corrélation est très moyenne

La mesure du chlore libre pour l'installation no. 26 peut être considérée comme un outsider. En effet, dans l'analyse des résidus normalisés, cette valeur est située très largement (4.15)

au-dessus de la limite communément admise équivalente à $\alpha = 95\%$, soit 1.96. Cette situation peut être due à une erreur de manipulation de l'opérateur à moins que réellement le chlore libre dans cette installation ait été aussi élevé au moment de l'échantillonnage. La question reste ouverte et doit être vérifiée avec l'exploitant.

En général, les résultats que nous avons obtenus pour le chlore libre diffèrent nettement des mesures de contrôle réalisées par les exploitants (Cl libre LIST = $0.08 + 0.76 \times \text{Cl Libre exploitant}$; $R^2 = 0.688$). La situation est également critique en matière de chlore combiné (Cl combiné LIST = $0.18 + 0.53 \times \text{Cl combiné exploitant}$).

Il y aurait donc une estimation erronée des deux paramètres par les exploitants des piscines : la valeur réelle du chlore libre et du chlore lié est vraisemblablement différente que les résultats obtenus par les exploitants. Cela peut avoir des conséquences directes sur l'implémentation de mesures correctives.

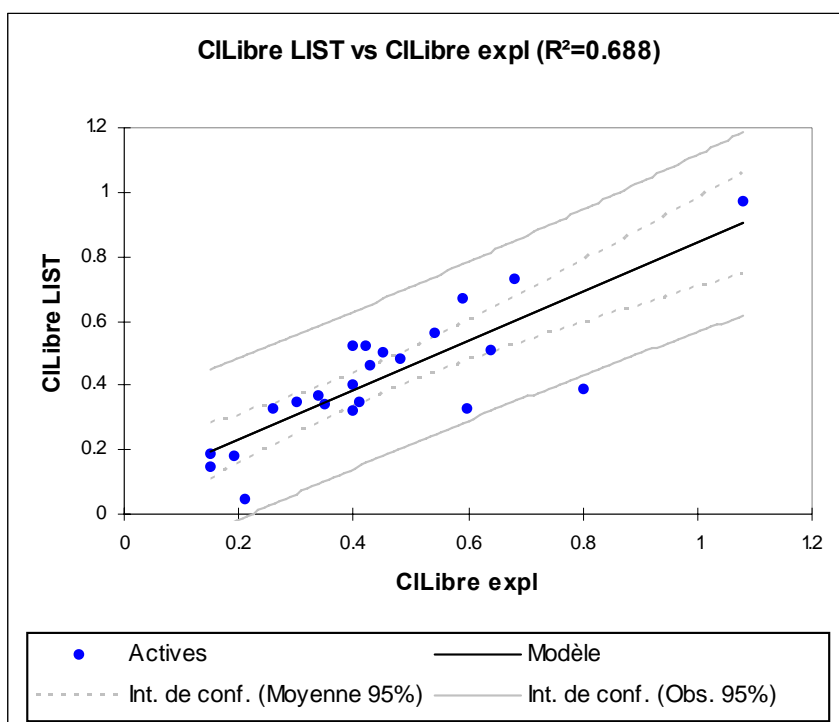


Figure 16 : corrélation entre chlore libre mesuré par le LIST et le chlore libre mesuré par les exploitants

10. Discussion

10.1 Niveaux de trichloramine dans les piscines visitées

Les niveaux de trichloramine mesurés dans les piscines visitées sont relativement satisfaisants. Les niveaux mesurés sont sensiblement en dessous de la valeur conseillée en France de 0.5 mg/m³. Moyenne et médiane sont basses. Une seule installation atteint la valeur cible française (no. 12). Les exploitants devront se pencher sérieusement sur cette question en identifiant les raisons de cette situation. Les niveaux mesurés sont sensiblement plus bas que ceux publiés pour des installations situées dans d'autres pays tels que la France, la Belgique, l'Allemagne ou les USA [France : Héry, Massin; Belgique : Bernard, Charpier; Allemagne : BGIA; USA : Chen]. Notre échantillon ne contenait pas de piscine dite ludique, avec des vagues artificielles, des jets et autres agitations de l'eau qui favoriseraient le dégazage de la trichloramine. Ce principe décrit dans la littérature de manière plutôt intuitive [Massin] doit encore être vérifié.

Une explication de la bonne tenue des installations constitutives de notre échantillon pourrait éventuellement résider dans les normes fixées dans les différents pays en matière de teneur en chlore libre et en chlore combiné dans l'eau des bassins. Le tableau ci-après donne un aperçu de la situation dans divers pays. On constate que les teneurs exigées et/ou limites en Suisse sont nettement plus basses que les niveaux officiels tolérés dans certains autres pays.

Pays	Chlore libre [mg/l]	Chlore combiné [mg/l]	Remarque
Belgique	0.5 - 1.5	< 0.8	Chlore combiné avant 2003 : 2.0 mg/l
Allemagne	0.3 à 0.6	< 0.2	Valeurs différentes pour les bassins chauffés (jacuzzis)
France	0.4 - 1.4	< 0.6	Avec stabilisant : 2 à 3 mg/l pour le chlore combiné)
Suisse			
Valeur de référence :	0.2 à 0.4	< 0.2	Valeurs différentes pour les bassins chauffés (jacuzzi)
Valeur tolérable :	0.1 à 0.8	< 0.3	

Tableau 21 : valeurs limites pour le chlore libre et le chlore lié fixées dans quelques pays européens

La relation entre les taux de chlore libre, respectivement de chlore lié, et les niveaux de trichloramine mesurés n'étant pas clairement établie, l'explication donnée est toute relative. Cependant, les niveaux maximum de chlore libre et lié tolérés en Suisse dans les eaux de baignade sont certainement un des facteurs explicatifs, mais pas le seul, des niveaux relativement bas de trichloramine mesurés lors de nos investigations.

Enfin, les exigences fixées aux exploitants des piscines dans la norme SIA 385/1 semblent suffisamment contraignantes pour permettre, en général, une maîtrise satisfaisante des conditions d'exploitation et concourir ainsi à des taux de trichloramine relativement bas.

Sur l'ensemble des installations visitées, la moitié (n=15) sont équipées d'un filtre à charbon actif monté dans le circuit d'eau, placé généralement après le filtre à sable ou à diatomées. Parmi ces 15 installations, trois sont équipées d'un jacuzzi (élément pouvant être à l'origine d'émanations importantes de trichloramine). Si l'on ne tient compte que des 12 installations

sans jacuzzi, le niveau moyen de trichloramine dans l'atmosphère de ces installations est situé à $0.07 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$, min. : 0.02 ; max. : 0.20 ; médiane : 0.06. Les niveaux mesurés dans ces piscines sont inférieurs aux niveaux moyens estimés pour les trois types de piscine. La différence entre les moyennes est statistiquement significative. Il apparaît donc que, pour les 30 installations visitées, les taux de trichloramine atmosphérique sont significativement plus bas dans les installations équipées d'un circuit d'eau avec filtre à charbon actif, ceci pour les infrastructures sans jacuzzi.

Nous n'avons identifié aucune différence significative entre les mesures effectuées au niveau de l'eau (16 cm) et à un point situé plus haut (130 cm au-dessus du plan d'eau). Aucun gradient de concentration n'a donc été mis en évidence. La littérature est discordante à ce sujet : certains auteurs mettent en évidence une différence, d'autres n'identifient rien à ce sujet [Charlier, Jacobs]. Les volumes d'air brassés dans les halles de piscines, la rapidité de dégazage de la trichloramine, l'agitation variable de l'eau due aux baigneurs ainsi que les différences de température entre l'eau et l'air empêchent certainement la création et la persistance d'un matelas d'air plus fortement contaminé à la surface de l'eau. De toute évidence, si l'on s'intéresse à connaître la situation d'exposition des baigneurs, on mesurera la teneur en trichloramine là où ils respirent (c'est-à-dire directement à la surface de l'eau). Si on s'intéresse à l'exposition professionnelle, alors des échantillonnages fixes, réalisés dans les endroits stratégiques de la halle, sont suffisants. Ils sont représentatifs de l'exposition du personnel.

Les résultats regroupés par type de piscine (natation, scolaire et thérapeutique) ne sont pas significativement différents, même si la moyenne des piscines scolaires est plus basse (0.08 mg/m^3) que la moyenne obtenue dans les piscines thérapeutiques (0.11 mg/m^3), respectivement les piscines 'natation' (0.13 mg/m^3). La répartition des concentrations moyennes dans les trois types de piscine est donc relativement homogène. Cela tend à démontrer que la maîtrise de l'ensemble des paramètres pouvant influencer les niveaux de trichloramine dans l'air (et notamment le respect des normes de qualité de l'eau) ainsi que des normes de ventilation pourrait être un élément important pour la maîtrise des concentrations de trichloramine dans l'air, pour autant que ces normes soient suffisamment sévères.

Aucune corrélation significative entre les teneurs en chlore combiné, chlore libre, chlore total THM, DOC, urée et la teneur mesurée en trichloramine dans l'air n'a pu être mise en évidence, y compris en excluant un résultat considéré comme outsider. En Belgique, bien que les résultats soient plutôt mitigées, une corrélation a été mise en évidence entre le taux de chloramine dans l'air et le taux de chlore total (coefficient de corrélation = 0.62) ou de chlore libre (coefficient de corrélation = 0.57), la corrélation au chlore combiné (coefficient de corrélation = 0.32) étant moins nette [Charlier]. C'est le cas également d'une étude hollandaise qui a mis en évidence une corrélation entre les taux de trichloramine mesurés, le nombre de baigneurs et le chlore libre dans l'eau [Jacobs]. Par contre, aucune corrélation significative n'avait été identifiée avec l'urée, la TOC et le chloroforme.

Des mesures réalisées dans une installation lors d'une grande manifestation sportive avec plus de 150 nageurs n'ont montré aucune différence significative avec les mesures réalisées lors d'une fréquentation normale (voir point 7.2 ci-dessus). Ces résultats confirment ceux récemment obtenus en Belgique [Charlier].

Les tests réalisés pour la mise au point de la méthode d'échantillonnage ont permis de vérifier que la différence entre les concentrations obtenues le matin et celles obtenues l'après-midi n'est pas significative en tenant compte d'une répartition log-normale.

Nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives entre les niveaux de trichloramine mesurés à différents endroits autour du bassin. La répartition semble ainsi homogène dans l'air de la halle.

En ce qui concerne une valeur limite de trichloramine dans l'air des piscines, le sujet est actuellement en discussion. En Suisse, en matière de protection de la santé publique à l'intérieur des halles des piscines couvertes, il n'existe aucune base légale permettant de limiter la teneur en un polluant atmosphérique dans l'air. La norme SIA 385/1, actuellement en révision, ne fait mention d'aucune proposition en la matière. En matière de prévention des maladies professionnelles, la liste de valeurs limites d'exposition au poste de travail publiée par la Suva (Liste VME, Form. 1903, Suva) et remise à jour tous les deux ans, permet de fixer officiellement les valeurs limites voulues. Il nous apparaît évident qu'une valeur limite doit être fixée pour certains polluants dans l'air des piscines couvertes, notamment la trichloramine et le chloroforme, au regard des deux populations distinctes, le public (et ses caractéristiques particulières comme par exemple la présence de bébés nageurs dans cette population) et les professionnels occupés dans les installations. Les deux objectifs de protection du public et de protection de la santé des travailleurs y trouveront leur compte (voir ci-après nos propositions).

10.2. Qualité des eaux de baignade

Sur les 30 piscines, 8 respectent l'ensemble des valeurs tolérables fixées dans la norme SIA 385/1. Si l'on tient compte des valeurs de référence, elles ne sont plus que 4 installations à respecter les limites admises. La qualité des eaux de nombreuses installations visitées n'est donc pas conforme aux exigences fixées dans la norme SIA 385/1. En chlore libre, 13 installations dépassent la limite supérieure de la valeur de référence (0.4 mg/l). Parmi elles, deux dépassent même la limite supérieure de la valeur tolérable mais présentent des concentrations de trichloramine très basses situées en dessous de 0.1 mg/m³. Deux piscines sont en dessous de la limite inférieure tolérable alors que les taux de trichloramine atmosphérique correspondants sont situés à 0.14, respectivement 0.10 mg/m³. Si les autres piscines sont dans la cible, cela n'empêche pas des concentrations de trichloramine atmosphérique déjà relativement élevées (voir typiquement l'installation no. 13 avec un chlore libre à 0.34 mg/l et un niveau de trichloramine à 0.31 mg/m³). La situation est encore plus grave pour le chlore combiné où 12 piscines dépassent la valeur tolérable! A souligner par exemple l'installation no. 13 qui présente un taux de chlore combiné relativement faible (0.11 mg/l) mais pour laquelle la concentration en trichloramine (0.31 mg/m³) est relativement élevée. Pour les THM, 14 piscines dépassent la valeur de référence. Elles ne sont par contre que 4 à dépasser la valeur de référence fixée pour l'urée. Il semble que les valeurs de tolérance et de référence pour les concentrations de chlore libre, de chlore lié et de trihalométhane dans l'eau (relativement basses en Suisse) soient des éléments permettant de maîtriser la concentration de trichloramine dans l'air des piscines couvertes. Toutefois, le respect de ces normes ne garantit pas toujours des niveaux de trichloramine suffisamment faibles pour éviter l'apparition, chez les professionnels des piscines, de symptômes irritatifs des voies aériennes supérieures, voire de plaintes d'oppression thoracique, en particulier.

L'amélioration de la qualité chimique des eaux de baignade (respect des normes de référence, respectivement des limites de tolérance) pourrait concourir à la diminution des polluants atmosphériques au-dessus des bassins, y compris en terme de chloroforme. Les mesures qui doivent être prises pour assurer au moins le respect des normes iront dans ce sens. Nous laissons les spécialistes du traitement des eaux de baignade décider des mesures à prendre en la matière, notamment le groupe d'experts actuellement chargé de la révision de la norme SIA 385/1.

10.3. Résultats concernant les réponses au questionnaire

10.3.1. Biais

Le principal biais dans les résultats obtenus avec les réponses données au questionnaire est constitué par l'effet du travailleur sain (healthy worker effect). Il s'agit de l'autosélection qui conduit les personnes pouvant souffrir de symptômes récurrents dûs à de mauvaises conditions de travail à quitter définitivement leur poste de travail. Ils ne sont ainsi pas parmi les répondants au questionnaire puisqu'ils ne sont plus occupés dans l'installation étudiée. Ce phénomène est un classique bien connu des études transversales. Une étude longitudinale pourrait éviter ce biais.

Un autre biais est dû à l'effectif relativement réduit de l'échantillon. L'étude a été menée conformément aux plans fixés au départ, avec les moyens à disposition et dans une ampleur qui reflète déjà suffisamment bien la situation au moins en Suisse romande. Toujours est-il que, vu l'effectif réduit (et à fortiori les effectifs encore plus faibles dans les différents groupes constitués), les interprétations ci-après doivent être prises avec une certaine prudence.

Le fait que le questionnaire ait été distribué au personnel en passant parfois par le responsable d'exploitation de la piscine ou un autre professionnel présent lors de l'échantillonnage peut également représenter un biais. En effet, certains employés n'ont peut-être pas osé remplir de façon totalement libre ce questionnaire.

10.3.2. Discussion des réponses au questionnaire

Les travailleurs ayant répondu au questionnaire appartiennent à des catégories professionnelles relativement disparates. Cela va du maître nageur occupé à 100% à cette activité unique (et donc exposé durant la totalité de son temps de travail à une atmosphère potentiellement contaminée avec de la trichloramine) au professeur de sport ou enseignant passant juste quelques heures par année avec une classe dans la piscine. Les travailleurs inclus dans notre étude sont cependant représentatifs du personnel occupé dans des piscines couvertes en Suisse romande : caissières (dans une seule installation), maîtres nageurs, techniciens chargés également de la surveillance des baigneurs, surveillants, physiothérapeutes, etc. Chacune et chacun est exposé à l'air de la piscine et des locaux techniques dans lesquels il travaille, mais à des taux d'occupation tout à fait différents. Nous avons donc tenu compte de ces différences en calculant le pourcentage des heures travaillées dans les zones potentiellement contaminées. Ainsi, dans notre population étudiée, seuls 23% des personnes étaient exposées durant plus de 85% d'un équivalent plein-temps à une atmosphère potentiellement contaminée avec de la trichloramine. Parmi ces professions, on trouve notamment les surveillants et les maîtres nageurs. En parallèle, environ un tiers de la population étudiée était exposé durant moins de 25% d'un équivalent plein-temps à une zone potentiellement contaminée. On retrouve dans cette catégorie les caissières, les physiothérapeutes et les enseignants.

Les prévalences de l'ensemble des plaintes d'irritation (yeux, gorge, nez) sont élevées et augmentent avec l'exposition à des niveaux de trichloramine dépassant 0.3 mg/m^3 (0.06 ppm). C'est particulièrement le cas pour les plaintes d'irritation du nez et des yeux. Les problèmes d'irritation de la peau sont également souvent mentionnés (liés vraisemblablement à l'utilisation de produits de nettoyage agressifs). Ces résultats sont importants : ils montrent clairement qu'une exposition à l'air des piscines couvertes va de pair avec des plaintes élevées d'irritation des voies aériennes supérieures et des yeux. De plus, le personnel ayant répondu au questionnaire fait clairement mention d'un lien entre les symptômes ressentis et les conditions de travail qu'il subit (voir Tableau 10 : pourcentage des plaintes reportées et considérées comme liées au travail). Cela est tout particulièrement valable pour les symptômes d'irritation de la gorge, du nez et des yeux ainsi que pour les problèmes de peau. Le cumul des symptômes d'irritation (yeux, gorge et nez) est également

significativement mentionné comme lié au travail. Le personnel occupé dans les piscines couvertes concernées par notre étude considère ainsi clairement que son environnement de travail est responsable des problèmes d'irritation des yeux, du nez et de la gorge ainsi que des douleurs thoraciques qu'il ressent. C'est également le cas pour les problèmes de peau.

Si la prévalence de ces plaintes augmente avec l'exposition à des niveaux de trichloramine plus élevés, nous n'avons malheureusement pas pu mettre en évidence une augmentation encore plus forte pour des taux de trichloramine plus élevés comme d'autres auteurs l'ont fait [Héry (d), Massin]. En effet, la situation générale étant très favorable dans la grande majorité des installations visitées, nous ne disposions pas dans notre échantillon de personnes exposées à des taux allant au-delà de 0.5 mg/m^3 (0.1 ppm). Toujours est-il que la prévalence des plaintes dans le groupe 3 (moyenne : 0.36 mg/m^3 soit 0.07 ppm) est préoccupante et montre bien l'action irritante marquée de la trichloramine largement reconnue [Gagnaire (b)]. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans d'autres travaux [Massin, Jacobs, Lévesque, Thoumelin]. Un auteur constate que les symptômes d'irritation des yeux et des voies respiratoires sont plus fréquents chez les nageurs exposés à un taux de trichloramine dépassant 0.37 mg/m^3 [Lévesque]. Un autre auteur a observé une fréquence plus élevée des troubles d'irritation chez les professionnels exposés alors que les concentrations de trichloramine mesurées ne sont en moyenne que de 0.21 mg/m^3 (0.04 ppm) dans les 28 piscines où les mesures ont été effectuées [Thoumelin]. Ces résultats sont identiques à nos observations. Le même auteur signale par exemple pour le symptôme 'yeux rouges', un taux de réponse de 23.8% (98 sujets sur 411) quand le niveau moyen journalier de trichloramine dans l'air était inférieur à 0.14 mg/m^3 (0.03 ppm) et de 25.9% quand ce niveau était dépassé (68 sujet sur 262). Dans notre étude, bien que plus faibles dans le groupe 1 (niveaux de trichloramine les plus faibles), les prévalences pour les symptômes ressentis dans les 12 derniers mois doublent pour les symptômes d'irritation. L'importance des prévalences de symptômes d'irritation est un marqueur évident d'un problème lié aux conditions de travail, vraisemblablement l'exposition à la trichloramine.

On n'a par contre pas observé de relation entre les symptômes respiratoires chroniques et les niveaux de trichloramine. Les auteurs soulignent cependant que, aucune information n'étant disponible sur l'histoire naturelle de l'exposition chronique à la trichloramine, on ne peut éliminer l'hypothèse que leurs résultats ne font que refléter le fait que l'exposition cumulée peut avoir été insuffisamment élevée [Massin (a) et (b)].

En matière de peau, les prévalences sont également très élevées, y compris pour les problèmes à plus long terme (toutes les plaintes, au-delà des 12 derniers mois d'exposition). Cela est vraisemblablement dû à des conditions de protection personnelle déficientes lors de l'utilisation de produits de nettoyage qui sont souvent agressifs dans ce domaine d'activité.

Comparé à un groupe de contrôle constitué de personnes non-exposées professionnellement à la trichloramine, le risque de symptômes d'irritation des yeux et du nez augmente significativement lorsque la concentration en trichloramine passe de 0.05 à 0.36 mg/m^3 en moyenne. C'est également le cas pour les risques cumulés de symptômes d'irritation.

Le calcul d'un indice d'exposition cumulé a permis de définir quatre groupes d'exposition cumulée. Plus cette dernière est élevée, plus les risques de plaintes d'irritation des yeux et du nez augmentent de manière significative. Il en va de même pour le cumul des symptômes d'irritation. Les risques de symptômes irritatifs des yeux et du nez sont particulièrement augmentés (OR entre 4.8 et 6.3) dans le groupe équivalant à une exposition de 40 heures à des niveaux de trichloramine variant entre 0.2 et 0.39 mg/m^3 quelle que soit la période d'exposition considérée (les 12 derniers mois ou avant les 12 derniers mois). Les risques sont aussi significativement plus élevés quelle que soit la période considérée pour les symptômes d'irritation des yeux pour le groupe D équivalant à 40 heures d'exposition à des niveaux variant entre 0.1 et 0.39 mg/m^3 . Le même constat peut être fait pour le cumul des symptômes irritatifs. Une conclusion semble évidente à la lecture de ces résultats : une exposition de 40 heures hebdomadaires à un taux de trichloramine dépassant 0.3 mg/m^3

(0.06 ppm) semble provoquer une augmentation significative des symptômes d'irritation des yeux et des voies aériennes supérieures chez le personnel occupé. Selon ces résultats, la limite proposée par nos collègues français, fixée à 0.5 mg/m³ de trichloramine, ne saurait suffire à préserver le personnel occupé à plein temps dans les zones contaminées contre des symptômes d'irritation des yeux et des voies aériennes supérieures. A noter que le même constat avait déjà été formulé en France [Massin] et en Hollande [Jacobs] sur des populations étudiées aux effectifs bien plus élevés. En France, la prévalence des symptômes respiratoires chroniques en fonction de l'exposition cumulée était plutôt basse. Inversement, la prévalence des symptômes d'irritation était plutôt élevée, quel que soit l'indice d'exposition (mesuré ou cumulé). De plus, les taux de prévalence tendaient à croître avec l'augmentation de l'exposition : pour l'indice d'exposition mesuré, une relation dose-réponse statistiquement significative apparaissait pour tous les symptômes, alors que pour l'indice d'exposition cumulé, ce n'est le cas que pour les symptômes d'irritation oculaire. Malgré une proposition allant dans ce sens [Héry (d)], la valeur cible française fixée à 0.5 mg/m³ n'avait pas été diminuée. En Hollande, aucune association n'avait été mise en évidence entre les niveaux estimés de trichloramine à long terme et les symptômes. Il faut cependant souligner que l'étude menée [Jacobs] n'a mesuré effectivement les taux de trichloramine que dans six piscines : trois avec le pourcentage le plus élevé d'employés se plaignant d'inconfort dû à l'environnement de travail et trois avec le pourcentage le plus faible d'employés se plaignant d'inconfort dû à l'environnement de travail. Cette étude a porté sur 624 employés occupés dans 38 installations, mais les taux de trichloramine ont été estimés (et non pas effectivement mesurés) pour 32 des piscines de l'échantillon. Il se peut que cette estimation soit incorrecte conduisant ainsi à des résultats imprécis, voire erronés. Par contre, une association très forte avait été trouvée entre de mauvaises conditions environnementales et les symptômes respiratoires et allergiques. De plus, l'exposition cumulée était significativement associée avec les symptômes d'irritation des voies aériennes supérieures.

A noter encore que les doses effectives de trichloramine respirées par les personnes présentes dans les halles de piscines peuvent varier sensiblement selon l'activité. Ainsi, un nageur est exposé durant un laps de temps relativement faible (entre 1 à 2 heures par semaine pour un nageur amateur et jusqu'à 20 heures par semaines pour un compétiteur), mais développe un débit respiration souvent très élevé. Par contre, une personne occupée dans la piscine sera exposée durant 20 à 40 heures par semaines, mais avec un débit respiratoire bien plus faible (de l'ordre de 1 m³/h) car il ne produit aucun effort particulier si ce n'est de se déplacer autour des bassins.

Par profession, le risque d'irritation des yeux est significativement plus élevé pour les maîtres nageurs quelle que soit la période considérée (durant les 12 derniers mois ou avant ces 12 derniers mois précédant l'enquête). Il est également plus élevé pour les physiothérapeutes mais uniquement pour la période précédant les 12 derniers mois d'exposition. Pour les deux professions, un risque significativement élevé de symptômes liés à la peau a également été identifié. Par contre, on constate que le cumul des techniciens et des techniciens-surveillant ne présente aucun risque significativement augmenté. Cette dernière constatation pourrait signifier que les personnes occupées comme techniciens ou techniciens-surveillants dans les piscines considérées sont moins exposées à la trichloramine, que ce soit en raison de l'emplacement de leur lieu de travail (locaux techniques, extérieurs, cabine du surveillant avec ventilation indépendante, etc. donc dans des zones peu contaminées par la trichloramine), soit que leur taux d'activité autour des bassins est relativement réduit. Nous avons écarté les surveillants de cette analyse : d'une part leur effectif était trop faible dans notre population, d'autre part beaucoup des installations visitées étaient équipées d'une cabine de surveillant laquelle était ventilé de manière indépendante, donc sans contamination par la trichloramine. La présence d'une telle installation permet de réduire de manière significative l'exposition du personnel de la piscine aux polluants présents dans l'atmosphère de ces dernières. De plus, le bruit engendré par les activités du public (et notamment des enfants) dans les halles des piscines peut parfois être particulièrement élevé. L'intensité sonore subie par le personnel se situe clairement dans les zones

d'inconfort élevé. La mise à disposition d'une cabine de surveillance réduit considérablement l'exposition au bruit en provenance des bassins et des utilisateurs des installations.



Figure 17 : exemple d'une cabine de surveillant

S'il serait incorrect d'attribuer à la seule trichloramine atmosphérique l'origine des symptômes mentionnés ci-dessus, force est de constater une augmentation nette des risques avec l'augmentation des taux d'exposition et des taux d'exposition cumulée. Cependant, il faut se souvenir que les professionnels occupés dans les piscines remplissent souvent de multiples fonctions : le technicien est également surveillant, tout comme le maître nageur, etc. Souvent, ce personnel est au bénéfice d'un brevet de sauveteur. Il doit donc régulièrement (par exemple une fois par semaine) s'entraîner à la nage et au sauvetage dans l'eau afin de maintenir ses capacités de sauveteur. Il est ainsi également exposé régulièrement à l'eau des bassins et aux polluants contenus dans l'eau, lesquels peuvent à leur tour expliquer certains des symptômes mentionnés dans les réponses aux questionnaires.

En raison de l'absence d'un contrôle médical pour remplir le questionnaire et pour identifier l'existence réelle d'un asthme ou d'un rhume des foins, nous avons décidé de ne pas interpréter les résultats obtenus pour la question relative à ces morbidités. Il faut tout de même relever l'importance de la prévalence de ce symptôme dans les plaintes précédant la période des 12 mois avant le passage du questionnaire. Ce constat est atténué par le fait que la prévalence des plaintes liées à l'asthme ou au rhume des foins atteignait 19% pour la même période dans le groupe de contrôle. Cependant, la littérature fait clairement état du risque d'asthme chez les personnes exposées à l'air des piscines (voir par exemple [Tafrechian, Thickett et Nemery]).

10.4. Commentaires concernant les ventilations

Bien que nous ayons renoncé, pour des questions techniques et de faisabilité, à réaliser des mesures exactes sur les systèmes de ventilation des piscines visitées, beaucoup (notamment les grandes installations type 'natation' et 'scolaire') annoncent un taux de renouvellement d'air variant entre 0.2 et 0.5 fois par heure. Les valeurs cibles fixées par la directive de la Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation no. 2004-1F semblent généralement respectées. C'est le cas pour la température de l'air en hiver (valeur-

cible : 30 °C dans le cas d'un bâtiment bien isolé et 31 à 32 °C dans le cas d'une proportion de vitrage élevée, max. 32 °C en hiver) ainsi que pour les taux d'humidité (valeur de consigne fixée à 14.3 g/kg; max : 15 g/kg). L'hygrométrie doit être maintenue à la limite d'une chaleur étouffante pour les personnes en tenue de bain. Cela équivaut à un taux d'humidité de 51% pour une température de 30°C. La majorité des installations disposait d'une ventilation régulée de manière à atteindre un taux d'humidité relative de 50%. Ainsi, en hiver, l'apport d'air extérieur est régulier (diminution de l'hygrométrie par l'apport d'air extérieur plus sec). En général, le débit de pulsion d'air est égal au débit d'extraction, une partie variable de l'air extrait étant rejeté vers l'extérieur et remplacé par de l'air frais. La directive 2004-1F de la Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation indique, pour les piscines couvertes, que la part d'air extérieur doit s'élever, pendant la durée de l'exploitation de la piscine, à 50 m³/h et par personne dans le bassin, le nombre de personnes étant théoriquement calculé en divisant la surface de l'eau des bassins de natation par 5 (5 m² par personne). L'apport minimum d'air frais de l'extérieur est généralement fixé sur cette base de calcul. Ainsi, les systèmes de ventilation des installations de natation et scolaires doivent garantir ce minimum tout en assurant un taux d'humidité de 50%.

Au cours de nos visites des installations de ventilation, nous avons pu constater que plusieurs étaient mal entretenues et que les valeurs-cibles principales n'étaient pas connues et à fortiori pas vérifiées par les exploitants. Les systèmes de ventilation sont souvent sujets à corrosion, ce qui peut entraver l'ouverture, respectivement la fermeture des clapets et systèmes d'échange. Le nettoyage régulier des filtres et des canaux de ventilation ainsi que la généralisation de systèmes automatisés permettant de vérifier en continu le respect des principes mentionnés ci-dessus devraient encore améliorer la situation des ventilations dans les piscines couvertes. Enfin, nous avons relevé que dans les petites installations (notamment les installations thérapeutiques), les taux de renouvellement de l'air étaient souvent très élevés (jusqu'à 7x/h).

Certains systèmes de ventilation ne tiennent pas compte des principes de base de la ventilation. Par exemple, les bouches d'aspiration de l'air sont parfois placées loin des installations à bulles (jacuzzi) favorisant ainsi la dispersion dans toute la halle des polluants atmosphériques issus de ces installations.

Evidemment, plus l'apport d'air frais est important, plus les niveaux de contamination en polluants atmosphériques seront faibles dans une halle. Cependant, plutôt que de préconiser d'augmenter les débits d'air frais apportés dans les halles (par exemple pour diminuer les taux de trichloramine atmosphérique), nous sommes d'avis que les efforts doivent prioritairement être concentrés sur la réduction des sources de polluants. Ce travail à la source permettra d'agir directement sur le problème lui-même sans intervenir sur le système de ventilation. Ce principe doit être appliqué à chaque installation et est un préalable à toute intervention sur la ventilation. Il respecte également les principes d'économie d'énergie, le réchauffement de l'air frais étant gourmand en énergie.

10.5. Autres polluants atmosphériques

La présence et la quantification d'autres polluants atmosphériques n'étaient pas l'objet du présent travail. Les trihalométhanes présents dans les eaux de baignade suite à la réaction du chlore (et du brome) avec les matières organiques sont constitués pour une grande proportion par du chloroforme qui dégaze de l'eau. Le chloroforme est présent dans l'air des piscines couvertes à des concentrations pouvant atteindre 150 à 200 µg/m³ alors que le bromodichlorométhane ou le dibromochlorométhane sont parfois présents, mais à des concentrations bien moindres. L'exposition des nageurs (et des professionnels) à ces substances a fait l'objet de nombreuses publications [par exemple Agazotti, Camman, Caro, Chu]. L'évaluation de la situation en matière de protection du public utilisateur des piscines doit tenir compte de cette réalité. Le sujet de la résorption transcutanée est également

sensible, notamment pour le chloroforme. En ce qui concerne les professionnels, la concentration en chloroforme est largement en dessous de la valeur limite d'exposition au poste de travail fixée par la Suva à 2,5 mg/m³. Cependant, le chloroforme étant classé en catégorie 2 des substances cancérigènes (substances devant être assimilés à une substance cancérigène pour l'homme [Suva]), il y a lieu de minimiser autant que possible l'exposition. Il n'existe aucune VME pour les autres substances couramment identifiées.

10.6. Divers

Trois installations visitées utilisaient le système Adamant pour assurer la désinfection de leurs eaux de baignade. Le système consistant en une électrolyse contrôlée en présence de NaCl, on retrouve du chlore libre et du chlore combiné dans les eaux de baignade et donc également de la trichloramine.

A noter qu'aucune installation ne disposait d'un système cuivre-argent. Cette technologie semble donner de bons résultats, mais peut poser certains problèmes liés à la présence de quantités trop élevées de cuivre dans les eaux rejetées.

La chimie des eaux est très complexe. Nous nous sommes limités à la question de la trichloramine atmosphérique. Nous laissons les spécialistes des eaux de baignade se prononcer sur l'efficacité de l'un ou l'autre système garantissant des eaux de baignade de qualité. Cependant, il semble que le respect des principes énoncés dans la norme SIA 385/1 (brassage et renouvellement de l'eau, taux horaire de passage dans le système de filtration, etc.) doit rester le premier objectif à atteindre pour maîtriser les conditions environnementales dans les diverses installations.

11. Recommandations

11.1. Recommandations en matière de santé publique

Dans un premier temps, des efforts conséquents doivent être mis en œuvre afin de respecter les normes déjà existantes en matière de qualité des eaux de baignade (norme SIA). Il apparaît en effet que de nombreuses installations ne respectent pas un ou plusieurs des critères fixés. Il semble que le respect de la norme SIA, passablement contraignante, soit le facteur le plus important pour atteindre des taux de trichloramine les plus faibles possibles.

Les bassins tampon des piscines doivent être hermétiquement séparés des autres locaux techniques. Des mesures techniques simple permettent d'atteindre cet objectif.

En parallèle, des actions doivent être conduites afin d'assurer un apport le plus faible possible de contamination organique dans les eaux de baignade. Il s'agit plus particulièrement d'assurer que le public utilisateur passe réellement sous la douche avant d'atteindre les bassins. Des actions de sensibilisations dans ce sens devraient être systématiquement engagées dans toutes les piscines.

Bien qu'aucune base légale n'existe actuellement en Suisse pour fixer un taux de trichloramine atmosphérique maximal acceptable pour la protection du public, une valeur de référence devrait être proposée. Si l'absence de trichloramine est l'objectif prioritaire, la valeur de référence ne devrait pas dépasser 0.3 mg/m³ (0.06 ppm).

Si, malgré les efforts engagés pour tenir les exigences de la norme SIA, les concentrations dans l'air devaient toujours être trop élevées, des mesures techniques devraient être mises en œuvre afin de permettre la réduction des taux de trichloramine dans l'eau, par exemple en installant un filtre à charbon actif sur le circuit d'eau ou un système de dégazage de l'eau

avant son retour dans les bassins de natation. Les méthodes de strippage préconisées en France [Gérardin a, b et c] donnent de bons résultats pour des coûts d'investissement et d'exploitation relativement bas. L'aspiration et le rejet de l'air vicié vers l'extérieur doivent être garantis.

L'effet bénéfique de la natation sur l'état de santé des nageurs est admis par tous. Chez les enfants asthmatiques, ce bénéfice est généralement attribué au fait que la respiration forcée dans une atmosphère relativement humide diminue la tendance à une bronchoconstriction due à l'effort par rapport à des exercices menés dans une atmosphère courante. Cependant, de nombreux cas d'irritation ont été décrits, des intolérances à l'air des piscines parmi les asthmatiques sont connues et il y a des indications selon lesquelles les nageurs de compétition rencontrent plus de problèmes respiratoires que les autres sportifs [Nemery]. Les risques de dommage pour les poumons provoqués chez les jeunes enfants par l'atmosphère des piscines couvertes et l'augmentation induite des cas d'asthme dans les pays industrialisés ont été décrits en Belgique [Bernard]. Les auteurs préconisent une poursuite des investigations concernant le risque sanitaire posé par les dérivés chlorés présents dans l'air des piscines. Les résultats d'une étude épidémiologique en Allemagne [Schoefer] ont montré que la natation précoce provoque chez des enfants des infections auditives et gastro-intestinales plus fréquentes mais ne favorise pas l'apparition de troubles respiratoires ou rhume des foins. On sait qu'en Allemagne, les valeurs de chlore dans l'eau sont plus réduites que dans d'autres pays et les valeurs de trichloramine dans l'air étaient également souvent faibles (médiane à 0.15 mg/m³ [Breuer]). En Suisse, il semble que nous ayons une situation comparable, voire meilleure qu'en l'Allemagne. La situation dans notre pays apparaît comme relativement bonne. Il serait cependant intéressant, comparativement, qu'une étude plus large soit réalisée dans les installations et auprès des utilisateurs suisses. Les résultats pourraient ainsi refléter une situation qualifiée de meilleure par rapport aux situations actuellement décrites à l'étranger. Nous sommes donc d'avis que de telles investigations, sous la forme d'études longitudinales, devraient également être entreprises en Suisse. Une telle étude devrait notamment faire intervenir une équipe pluridisciplinaire faisant appel à des connaissances larges (médecins, pneumologues, hygiénistes du travail, spécialistes du traitement des eaux de baignades, etc.).

Jusqu'à plus amples connaissances, les études de Bernard ainsi que les résultats récemment publiés en Norvège [Nystad] invitent à la prudence. A notre avis, exposer un bébé aux polluants atmosphériques potentiellement présents dans l'air des piscines couvertes (trichloramine, mais également chloroforme) se justifie d'autant moins que l'enfant sera en sus exposé aux irritants présents dans les eaux de baignade. L'apprentissage de la natation (qui n'est pas l'objectif des cours pour bébés nageurs) est un but qui doit rester cependant prioritaire, enseigné à l'air libre et à un âge où l'épithélium pulmonaire est moins sensible.

En termes de solutions techniques, les installations faisant appel à la technologie de ionisation cuivre-argent semblent prometteuses [Bernard 2008]. Cependant, vu la complexité de la chimie de l'eau et les possibles problèmes liés à la présence de cuivre dans les eaux rejetées, une investigation détaillée doit précéder la mise en œuvre d'un tel système.

Enfin, la dernière publication belge [Bernard 2008] ayant porté sur 847 enfants fréquentant des piscines à l'air libre a confirmé que les produits de chloration en piscine exercent un effet adjuvant sur le développement des affections allergiques (asthme, rhume des foins et rhinite allergique), particulièrement marqué pour l'asthme. Chez les sujets sensibilisés, le risque d'asthme augmente de façon quasi linéaire avec l'exposition cumulée aux piscines chlorées. Par contre, les sujets ayant fréquenté la piscine cuivre-argent ont quatre fois moins de risque d'être asthmatique que le reste de la population. Ainsi donc, la situation doit également être vérifiée (étude longitudinale) dans le domaine de la protection du public fréquentant les piscines à l'air libre.

Suite aux travaux publiés en Allemagne [Schoefer], dont les résultats ne correspondent pas aux résultats de Bernard, un suivi scrupuleux de l'évolution des connaissances en la matière doit assurer, le cas échéant, la mise en œuvre d'autres mesures destinées à la protection du public. Les résultats des évaluations en cours en matière de présence de trichloramine atmosphérique lors de l'utilisation de lampes UV (destinées à la destruction des chloramines dans l'eau) devront être étudiées en détail.

11.2. Recommandations en matière de protection des travailleurs

Notre étude a montré une augmentation significative de la prévalence, des plaintes et des risques de symptômes irritatifs chez le personnel régulièrement occupé dans les zones contaminées par de la trichloramine. Tant la prévalence que le risque (odds ratio) augmentent significativement dès que la concentration atteint environ 0.3 mg/m^3 (0.06 ppm). Ces résultats sont identiques à ceux publiés en France où l'augmentation de la prévalence des troubles irritatifs présente une nette corrélation avec le niveau d'exposition à la trichloramine [Héry, Massin, Thoumelin]. Manifestement, la valeur cible proposée par l'INRS en France, fixée à 0.5 mg/m^3 (0.1 ppm) ne permet pas d'assurer le confort du personnel occupé aux postes de travail concernés. C'est ce que confirme Thoumelin qui observe une fréquence plus élevée de troubles alors que les concentrations en trichloramine ne sont en moyenne que de 0.21 mg/m^3 (0.04 ppm) dans les 28 piscines où les mesures ont été effectuées. A souligner que Massin [Massin (b)] commente que cette valeur cible française est fixée pour une exposition à court terme alors que Gagnaire [Gagnaire (b)] la propose pour une valeur moyenne d'exposition de 8 heures par jour.

Il apparaît donc que la fixation possible d'une valeur limite d'exposition aux postes de travail doit s'arrêter au caractère irritatif de la trichloramine, les données toxicologiques chroniques étant par ailleurs réservées (mais non disponibles au stade actuel). Nous comparons donc la situation de la trichloramine à celle du chlore et du brome.

La valeur limite d'exposition aux postes de travail pour le chlore est fixée aux Etats-Unis à $TLV = 0.5 \text{ ppm}$, soit 1.5 mg/m^3 [ACGIH]. Elle a pour unique objectif de minimiser les risques potentiels d'irritation des yeux, des muqueuses et des voies respiratoires. Le commentaire fait état du fait que l'exposition à 1 ppm de chlore gazeux durant 8 heures conduit à des changements significatifs de la fonction pulmonaire et à une augmentation des irritations subjectives de la part des travailleurs exposés. Pour la trichloramine, nous avons mis en évidence une augmentation de ce type dès 0.2 à 0.3 mg/m^3 (0.04 à 0.06 ppm). Les travaux de Massin et Thoumelin vont dans le même sens, surtout ce dernier qui signale qu'il constate une telle augmentation dès 0.21 mg/m^3 (0.04 ppm) déjà. Le commentaire relatif à la TLV américaine pour le chlore signale qu'il a pour objectif de réduire les symptômes de gênes ressenties au nez, aux voies respiratoires ainsi qu'aux yeux qui apparaissent dès 1 ppm (3 mg/m^3). D'où la proposition d'une TLV de 0.5 ppm . En Allemagne, la valeur moyenne d'exposition au poste de travail (MAK-Wert) pour le chlore est également fixée à 0.5 ppm (1.5 mg/m^3) [DFG] sur la base des mêmes objectifs.

Dans le cas d'une VME pour le brome, la justification va dans le même sens. Aux USA, la TLV ($0.1 \text{ ppm} = 0.66 \text{ mg/m}^3$) est proposée en vue de minimiser le potentiel d'irritation des voies respiratoires et d'endommagement des tissus pulmonaires. A noter que la valeur limite à court terme (STEL, 15 min.) est fixée à 0.2 ppm (1.32 mg/m^3) suite à un accident survenu à Genève dans les années 80. En Allemagne, la valeur moyenne d'exposition (MAK-Wert) pour le brome est fixée à 0.1 ppm (0.66 mg/m^3) avec le même but : tenir compte des irritations subjectives et de la comparaison avec les données expérimentales relatives au chlore. La VME helvétique pour le brome est fixée à 0.1 ppm (0.7 mg/m^3).

Nos résultats, mais surtout ceux de Thoumelin et de Massin, montrent des symptômes irritatifs marqués dès 0.2 à 0.3 mg/m^3 . Jacobs va dans le même sens. De plus, il semble que la trichloramine affecte potentiellement les poumons à travers divers mécanismes. Les études de provocation publiées [Thickett] ont montré des modifications importantes de la fonction pulmonaire déjà à 0.5 mg/m^3 (0.1 ppm) alors que l'un des travailleurs concernés (maître nageur) était exposée à un niveau de trichloramine variant entre 0.1 et 0.57 mg/m^3 . Un commentaire avisé de cette étude [Nemery] souligne qu'il est difficile de douter que les personnes étudiées souffrent d'un asthme professionnel. La valeur cible de 0.5 mg/m^3 ne semble donc pas atteindre l'objectif de protection souhaité.

Parmi les autres catégories professionnelles potentiellement exposées à la trichloramine figurent notamment les travailleurs chargés du nettoyage et du conditionnement des légumes dans l'agroalimentaire : si l'eau utilisée contient du chlore, un phénomène de formation de trichloramine survient au contact des substances organiques lors du lavage, exposant les travailleurs à la trichloramine [Héry (c), Massin (c)]. La volonté d'économiser l'eau va ici à l'encontre de la protection des travailleurs, les teneurs en chlore libre devant être élevées dans l'eau de lavage recyclée. Les symptômes irritatifs mis en évidence par Massin sont identiques à ceux décrits pour les travailleurs des piscines et leur prévalence augmente significativement avec l'augmentation des concentrations en trichloramine, bien que les auteurs mentionnent la présence de gluturaldéhyde à certains postes de travail. Par contre, aucune corrélation n'a été observée entre les symptômes respiratoires chroniques et les concentrations de trichloramine. Selon nos informations, il semble que de nombreuses entreprises agroalimentaires suisses ne fassent pas appel à la chloration pour la désinfection de l'eau utilisée pour nettoyer les légumes. Cette information doit cependant encore être vérifiée. Les opérations de nettoyage et de désinfection dans les élevages de volailles peuvent également conduire à une exposition à la trichloramine.

Une concentration limite devrait donc être fixée en dessous des valeurs pour lesquelles la prévalence et le risque de symptômes irritatifs sont démontrés, tout en tenant compte d'un facteur de sécurité. C'est d'ailleurs ce que proposent certains auteurs pour la valeur cible française, sans conséquence à ce jour.

Sur la base des résultats mentionnés, nous sommes d'avis qu'une valeur limite d'exposition aux postes de travail peut être fixée pour la trichloramine. Les principes appliqués (tenir compte des effets irritatifs de la substance) sont identiques à ceux utilisés pour fixer les normes américaine (TLV de l'ACGIH) et allemande (MAK-Wert) pour le chlore et le brome. Nous proposons donc que la Suva fixe une VME pour la trichloramine à 0.3 mg/m^3 (0.06 ppm).

La population concernée en Suisse par cette mesure semble relativement réduite. En effet, sur la base des résultats obtenus dans notre étude, pour autant que les conditions fixées par la norme SIA en matière de qualité des eaux de baignades soient respectées, il semble que la grande majorité des installations suisses se situera largement en dessous de cette valeur. De plus, la plupart du personnel occupé dans les installations est exposé moins de 42 heures par semaine à l'air des halles de piscines. La reconnaissance de maladies professionnelles liées à l'exposition à la trichloramine est cependant d'actualité dans certains pays, comme la France par exemple, où les travaux exposant aux dérivés aminés des produits chlorés tels que la chloramine dans les piscines ont été introduits en 2003 dans le tableau I relatifs aux asthmes professionnels [Pairon]. En Suisse, il est difficile de trouver des informations probantes dans les statistiques de l'assurance-accidents au sujet de l'exposition à la trichloramine : les exploitants des piscines ne sont pas listés séparément et sont souvent noyés dans la masse des entreprises publiques (écoles, communes, cantons) ou sont assurés auprès des assureurs privés pour lesquels la Suva (ou la Centrale suisse de statistiques des accidents) ne dispose d'aucune donnée médicale. La trichloramine n'est pas non plus mentionnée comme motif de maladie professionnelle. Pour les années 1984 à 2006, 3099 cas d'asthme professionnel ont été reconnus, parmi lesquels 13 cas, issus du collectif des assurés de la Suva, pour lesquels la pathologie est due à une substance organique halogénée. Il semble qu'aucun ne relève d'une exposition à la trichloramine. Un unique cas est issu du collectif des assureurs privés et actif dans le domaine professionnel du sport (mention poussières organiques). Dans le cas des assureurs privés, aucune donnée médicale n'étant disponible à la centrale des statistiques, il n'est pas possible de vérifier si ce cas est en relation avec une exposition à la trichloramine.

La situation des professionnels potentiellement exposés à la trichloramine n'est que peu connue en Suisse. Une étude longitudinale avec l'intervention d'une équipe pluridisciplinaire (médecins du travail, hygiénistes du travail) pouvant assurer le relevé des données

techniques et médicales, les mesures de taux de trichloramine et éventuellement des tests bronchiques, permettrait de cerner plus exactement la situation d'un point de vue technique et médical. Une telle étude devrait être élargie à toutes les professions susceptibles de subir une exposition à la trichloramine (travailleurs des piscines, industrie agroalimentaire, élevages de volailles, travaux de nettoyage et de désinfection à base de solution de chlore ou d'eau de Javel, etc.).

Une collaboration entre les professionnels des piscines (et notamment le groupe de travail concernant la norme SIA 385/1) et de la prévention des maladies professionnelles (Suva) et de la protection de la santé au travail (seco / inspections cantonales du travail) devrait être instituée. Le respect des exigences de la norme SIA est un préalable à toute autre action de prévention dans le secteur.

Des mesures de trichloramine dans les installations existantes devraient être conduites afin de cerner exactement la situation dans l'ensemble du pays. Des investigations dans les installations dites ludiques devraient permettre de connaître également la situation de l'exposition professionnelle parmi le personnel occupé dans ces installations.

Des évaluations de l'exposition au bruit du personnel occupé dans les piscines devraient également être conduites. Afin de garantir le respect des principes de prévention des nuisances dues au bruit, des mesures de prévention simple devrait être systématiquement mis en œuvre, par exemple la mise à disposition d'une zone séparée, type 'cabine vitrée'. Cette mesure assure une diminution du temps d'exposition et donc une réduction de l'exposition au bruit et à la trichloramine dans la mesure où la cabine dispose d'une ventilation séparée.

Dans les locaux techniques, des mesures assurant une séparation physique entre le circuit d'eau (et notamment le bassin tampon) et le reste des locaux doivent être mises en œuvre. Il s'agit plus particulièrement d'isoler complètement le bassin tampon du reste des locaux en fermant hermétiquement tous les accès à ce bassin. Cette simple mesure doit permettre la suppression totale de contamination de l'air des locaux technique due à l'eau présente dans le bassin tampon. Si des mesures de strippage / dégazage devaient être mises en œuvre sur les bassins, une évacuation vers l'extérieur de l'air vicié devrait alors être mise en place.

En matière de ventilation, un effort particulier doit être conduit par les exploitants des piscines dans le domaine de la maintenance des installations (nettoyage régulier des filtres et des canaux de ventilation, auto-contrôle régulier, etc.), de la vérification des critères à atteindre (contrôle notamment de la température, de l'humidité et du taux de renouvellement d'air) et en fixant, pour chaque installation, un débit minimum d'air frais de remplacement quelle que soit la situation hygrométrique dans la halle (au moins 30%).

De toute évidence, des mesures doivent être prises dans l'ensemble des piscines du pays pour assurer la prévention des atteintes à la peau du personnel concerné. Plus particulièrement, une action ciblée de sensibilisation et d'information au sujet des moyens de protection disponibles dans ce domaine devrait viser les professionnels chargés notamment des travaux de nettoyage dans les piscines.

A des fins de sensibilisation, les résultats du présent travail doivent être communiqués et expliqués aux exploitants ainsi qu'au personnel des installations.

12. Autres études et résultats à venir

Les études en cours à l'étranger doivent faire l'objet d'un suivi scrupuleux. Leurs conclusions devraient être d'un apport déterminant pour améliorer encore la situation du public utilisateur et des professionnels concernés dans notre pays.

Une grande étude portant sur la présence de trichloramine dans l'air des piscines couvertes est actuellement en cours en Allemagne (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung - DGUV). Les résultats devraient être publiés à l'automne 2008.

En France, une étude longitudinale est actuellement en cours (INRS). Les résultats devraient être disponibles en 2012.

A Genève, des travaux comparatifs dans l'utilisation de lampes UV et leur influence sur la présence de trichloramine atmosphérique ont été conduits durant l'été 2008. Les résultats devraient être disponibles avant la fin de l'année. L'utilisation de lampes UV pour la réduction des chloramines et du chloroforme dans les eaux de baignade a déjà été testée par l'INRS (Gérardin (d)). Les auteurs concluaient qu'il est fort probable que le principe de la technologie photochimique ne soit pas totalement adaptée à ce type de milieu aquatique et que la mise en place de lampes basse ou moyenne pression accentue le risque d'exposition à des produits tels que le chloroforme, et n'apporte pas de réponse satisfaisante à la problématique de la trichloramine!

Enfin, les travaux de Bernard et consorts en Belgique sur les enfants et adolescents, et notamment les risques d'asthme, se poursuivent. Ils pourraient être déterminants dans la fixation d'une politique de prévention de la santé publique en la matière.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement nos collègues du LIST à Peseux, Messieurs Olivier Schenk, Daniel Perret et Christophe Iseli pour les importants travaux de mise au point de la méthode, d'échantillonnage et de récolte des données ainsi que pour la relecture du présent document.

Nous remercions également Catheline Reymond de l'IST à Lausanne pour ses travaux durant la première partie de la campagne de mesures. Notre gratitude à l'ensemble de l'équipe du Laboratoire cantonal à Delémont pour leur disponibilité et pour les analyses effectuées sur les échantillons récoltés. Un grand merci à Jérôme Lavoué de l'IST à Lausanne pour ses conseils en matière de statistiques ainsi qu'à Madame Aline Sager, bibliothécaire à l'IST. Enfin le soutien de Gérard Donzé et Pierre Crétaz de l'Office fédéral de la santé publique à Berne pour l'analyse de la littérature relative à la santé publique a été très apprécié.

REFERENCES

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists : Documentation of threshold limit values, Chlorine, ACGIH, 2001.

Aggazotti G., Fantuzzi G., Righi E., Tartoni P., Cassinadri T., Predieri G.; Chloroform in Alveolar Air of Individuals Attending Indoor Swimming Pools; Archives of Environmental Health, 48 (no. 4), pp 250-254, 1993.

Badinier-Paganon I., Deschamps F.; Exposition des maîtres-nageurs aux dérivés chlorés; Arch. mal. Prof., 2001, 62, no. 6, 477-481.

Barazzone Argiroffo Constance; "Initier les petits enfants à la natation risque de causer des lésions irréversibles" : le point sur la question; Paediatrica, vol. 17, no. 3, 2006, pp 67-68.

Barbee S., Thackara J., Rinehart W., 1983; Acute inhalation toxicology of nitrogen trichloride. American Industrial Hygiene Association Journal, 44:145-146.

Bernard A., Nickmilder M., Voisin C., 2008: Outdoor swimming pools and the risks of asthma and respiratory allergies during adolescence; Eur Respir J. 2008; 32:1-10

Bernard A., Carbonnelle S., Dumont X., Nickmilder M., 2007; Infant swimming, pulmonary epithelium integrity and the risk of allergic and respiratory diseases later in childhood; Pediatrics, 119:1095-1103.

Bernard A., Carbonnelle S., De Burbure C., Michel O., Nickmilder M., 2006; Chlorinated pool attendance, atopy and the risk of asthma during childhood; Environ Health Perspect., 114: 1567-1573.

Bernard A., Carbonnelle S., Nickmilder M., de Burbure C., 2005: Noninvasive biomarkers of pulmonary damage and inflammation: Application to children exposed to ozone and trichloramine; Toxicol Appl Pharmacol., 206:185-190.

Bernard A., Carbonnelle S., Michel O., Higuët S., de Burbe C., Buchet J., Hermans C., Dumont X., Doyle I., 2003; Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated pools; Occup. and Env. Medicine 60: 385-394.

BGIA : Aus des Arbeit des BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Unfallversicherung : Trichloramin in Hallenbädern, Ausgabe 0284 – 4/2008.

Breuer D., Engel C., Kellner R. 2008 Poster in Airmon 2008, Sixth Intern. Symp. on Modern Principles of Air Monitoring and Biomonitoring, Jan. 28-31, Geilo, Norway

Cammann K., Hübner K.; Trihalomethane Concentrations in Swimmer's and Bath Attendants' Blood and Urine after Swimming or Working in Indoor Swimming Pools; Archives of Environmental Health, 50 (no.1), pp 61-65, 1995.

Carbonnelle S. (a), Francaux M., Doyle I., 2002; Changes of serum pneumoproteins caused by short-term exposures to nitrogen trichloride in indoor chlorinated pools; Biomarkers 7: 464-478.

Carbonnelle S. (b), 2003; Les risques sanitaires des produits dérivés de la chloration des eaux de bassin de natation; VertigO, la revue en sciences de l'environnement, Vol 4, No 1, mai 2003

Caro J., Gallego M.; Assessment of exposure of workers and swimmers to trihalomethanes in an indoor swimming pool; Environ Sci Technol, 2007 Jul 1; 41(13): 4793-8.

Charlier G.; Burlion G., Schrooten D., Korfer J., Mouchette A.F., 2003; convention N° 01/13240 (Belgique). Etude de la qualité de l'air des piscines visant à définir des normes pour le contrôle régulier de ces établissements. Rapport final 2003.

Chen L., Dang B., Mueller C., Dunn K., Almaguer D., Ernst J., Otto C.; Investigation of Employee Symptoms at an Indoor Waterpark; Health Hazard Evaluation Report HETA 2007-0163-3062, CDS, NIOSH, June 2007, 53 p.

Chu H., Nieuwenhuijsen M.J.; Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools; Occup Environ Med 2002; 59: 243-247

Ciba-Geigy : Wissenschaftliche Tabellen Geigy, Ed. Ciba-Geigy, 1977

DFG : MAK-Wert Begründung, 38. Lieferung, 2004

Drobnic F., Freixa A., Casan P., Sanchis J. and Guardino X., 1996, Assessment of chlorine exposure in swimmers during training. Med. Sci Sports Exerc. 28(2), 271-274

Eichelsdörfer D., Slovak J., Dirnagl K. und Schmid, K., 1975 Zur Reizwirkung (Konjunctivitis) von Chlor und Chloraminen im Schwimmbeckenwasser. Vom Wasser 45, 17 - 28.

Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Ceppelli G., Gobba F. And Aggazzotti G.; Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools; The Science of the Total Environment 264 (2001):257-265.

Gagnaire F (a), Azim S., Bonnet P., Hecht G., Héry M., 1994; Pouvoir irritant du chlore et du trichlorure d'azote chez la souris; INRS, Cahiers de Notes Documentaires, N.156: 293-296.

Gagnaire F. (b), Azim S., Bonnet P., Hecht G., Hery M., 1994; Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride; J Appl Toxicol. 14(6): 405-9.

Gérardin F. (a), Gagnaire F., Héry M., Massin N., 2005; Réduction de l'exposition des travailleurs au trichlorure d'azote par action sur les procédés dans deux secteurs d'activité; INRS, Cahiers de Notes Documentaires, N 201:9-18

Gérardin F. (b), Muller-Rodriguez N., Quenis B. ; Stripping de la trichloramine dans les bacs tampons des piscines ; Cahiers de notes documentaires, no. 184, 2001, pp 26-36.

Gérardin F. (c), Gerber J.M., Héry M., Quénis B.; Extraction de chloramines par contact gaz/liquide dans les eaux de piscines; Cahiers de notes documentaire no. 177, 1999, pp 21-29.

Gérardin F. (d), Hecht G., Hubert-Pelle G., Subra I.; Traitement UV : suivi de l'évolution des concentrations en chloroforme et en trichlorure d'azote dans les eaux de baignade d'un centre aquatique; Cahiers de notes documentaires, no. 201, 2005, pp 19-29.

Hamel Hélène : Etude de l'évolution du trichlorure d'azote et des trihalométhanes dans l'eau et l'air des piscines chlorées. Thèse présentée devant l'Université de Rennes 1, octobre 2007.

Hermans C, Bernard A: State of the Art. Secretory proteins of pulmonary epithelial cells: characteristics and potential applications as peripheral lung markers. *Am J Resp Crit Care Med.* 1999, 159: 646-678.

Héry M. (a), Hecht G., Gerber J., Gendre J., 1994; Exposition aux chloramines dans les atmosphères des halls de piscines: *ND 1963*, 156: 285-292.

Héry M. (b), Hecht G., Gerber J.M., Gendre J.C., Hubert G., Rebuffaud J., 1995, Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Ann. Occup. Hyg.* 39(4): 427-439.

Héry M. (c), Gerber J.M., Hecht G., Subra I., Possosz C., Aubert S., Dieudonné M., André J.C.; Exposure to Chloramines in a Green Salad Processing Plant; *Ann. Occup. Hyg.* Vol. 42, No. 7, pp 437-451, 1998.

Héry M. (d), Puzin M.; Le point des connaissances sur... Chloramines dans les piscines et l'agroalimentaire, INRS, septembre 2000. Disponible sur www.inrs.fr.

INRS (b) : Trichlorure d'azote et autres composés chlorés : fiche no. 007/V01.1, 2007, disponible sous la banque de données Métropol sous www.inrs.fr.

Jacobs J., Spaan S., van Rooy G., Meliefste C., Zaat V., Rooyackers J. Heederik D., 2007; Exposure to trichloramine and respiratory symptoms in indoor swimming pool workers; *Eur Respir J* 2007; 29: 690–698

Kohlhammer Y., Heinrich J; Chlorine Chlorination By-Products and Their Allergic and respiratory Health Effect; *Current Resp. Med. Review*, 2007, 3, 39-47

Lévesque B., Duchesne J., Gingras S., Lavoie R., Prud'Homme D., Bernard E., Boulet L., Ernst P., 2006; The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers; *Int Arch Occup Environ Health* (2006) 80: 32–39

Massin N. (a), Bohadana A., Wild P., Héry M., Toamain J., Hubert G., 1998; Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools; *Occup Environ Med*, 55: 258–263.

Massin N. (b), Bohadana A., Wild P., Héry M., Toamain J., Hubert G.; Maîtres nageurs sauveteurs exposés au trichlorure d'azote dans les piscines couvertes : Symptômes respiratoires et réactivité bronchique; Cahiers de notes documentaires, no. 86, 2001, pp 183-191.

Massin N. (c), Hecht G., Ambroise D., Héry M., Toamin J.P., Hubert G., Dorotte M., Bianchi B.; Respiratory symptoms and bronchial responsiveness among cleaning and disinfecting workers in the food industry; *Occup Environ Med* 2007; 64: 75-81.

- Nadif R., 2001; Effets sur la santé de l'exposition aux sous-produits de la désinfection de l'eau; Rapport scientifique final INSERM U420.
- Nemery B., Hoet P.H.M., Nowak D.; Editorial : Indoor swimming pools, water chlorination and respiratory health; Eur Respir J 2002; 19: 790-793.
- Nystad W.; Baby swimming and respiratory health; Acta Paediatrica 2008, 97: pp. 657-662
- Pairon J.-C., Choudrat D.; Nouveaux tableaux de maladies professionnelles; Rev Mal Respir 2003; 20: 501-509
- Riva Catherine, série d'articles parus dans 'Le Matin dimanche' en dates du 9 avril, 14 mai, 21 mai et 19 juin 2006 + 25 mars 2007 – primée par le Prix Suva des média 2007.
- Seux R.; Evolution de la pollution apportée par les baigneurs dans les eaux de piscine sous l'action du chlore; Journal Français d'Hydrologie 1988, Fasc. 2. pp 151-168
- Schoefer Y., Zutavern A., Brockow I., Schöfer T., Krämer U., Schaaf B., Herbarth O., von Berg A., Wichmann H., Heinrich J., 2008; Health risks of early swimming pool attendance; Int. J. Hyg. Environ. Health, 2007, pp 1-6
- SIA – Société des ingénieurs et architectes – Norme 385/1, Ed. 2000
- Schmalz Ch., Frimmel F.H., Zwiener Ch., 2007. NCl₃ formation in swimming pool water-chemical reactions and precursors. 2007. Poster in Pool and Spas 2, München, Germany.
- Suva : Valeurs limites d'exposition aux postes de travail 2007, Form. no. 1903, Lucerne, janvier 2007. Disponible sous www.suva.ch.
- Stottmeister E., Voigt K. : Neue Erkenntnisse in der Wasseraufbereitung; Archiv des Badewesens, Bd. 03, 2006, pp 158-162.
- Tanen D., Greame K., Raschke R.; Severe Lung Injury Exposure to Chloramine Gas from Household Cleaners; The New England Journal of Medicine; 1991, September 9, 848-849.
- Thickett K.M., McCoach J.S., Gerber J.M. Sadhra S., Burge P.S.; Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air; Eur Respir J 2002; 19: 827-832
- Thoumelin P., Monin E., Armandet D., Julien M., Massart B., Vasseur C., Pillon A., Zilliox M., Balducci I., Bergeret A., 2005; Troubles d'irritation respiratoire chez les travailleurs des piscines; INRS, Documents pour le médecin du travail no. 101, 2005, pp 43-61.
- WHO 2006; Guidelines for safe recreational water environments, Volume 2, Swimming pools and similar environments, Geneva.

