

Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam).
À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques.

PORTRAIT RÉTROSPECTIF DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX CHLORAMINES DANS LES PISCINES ET LES STATIONS THERMALES EN FRANCE DE 2011 À 2020

Afin d'évaluer les niveaux de concentrations de trichlorure d'azote dans les piscines et stations thermales en France, cet article dresse un portrait des mesures d'ambiance et des mesures individuelles, concernant cette substance, enregistrées dans la base Colchic entre 2011 et 2020.

BARBARA
SAVARY,
GAUTIER
MATER
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Contexte

La France compte aujourd'hui plus de seize mille établissements publics ou privés (piscines municipales, hôtels, camping, etc.) accueillant du public et équipés d'une piscine réglementée [1].

Pour limiter la prolifération microbienne et maintenir une bonne qualité sanitaire des eaux de baignade, celles-ci sont régulièrement traitées avec des produits chimiques contenant des composés chlorés ou bromés, devant être agréés par le ministère chargé de la Santé, ou par des procédés employant de l'ozone ou des UV par exemple. Cette désinfection est essentielle pour protéger les utilisateurs contre le risque de maladies microbiennes dans les piscines. Depuis le 1^{er} mars 2021, l'Anses

est chargée de l'autorisation d'utilisation des produits de traitement [1]. La désinfection de l'eau génère plus de 400 substances chimiques, dont les trihalométhanes, les bromates et les chloramines, et en particulier le trichlorure d'azote (ou trichloramine NCl_3) [1]. Ce dernier, très volatil, est le résultat d'une suite de réactions chimiques complexes entre les produits chlorés utilisés pour la désinfection et les composés organiques azotés présents dans l'eau et d'origine humaine (sueur, salive, urine, produits cosmétiques...) [2] et notamment, à partir de la réaction entre l'ammoniac et l'hypochlorite ClO^- :



Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'expositions professionnelles telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.

Des études ont mis en évidence que plus le pH est élevé, plus la formation de NCl_3 est faible. Selon Schmalz *et al.* (cités par Carter et Joll [3]), le pH de l'eau de baignade influence la formation de NCl_3 dans les eaux dont les concentrations les plus élevées sont observées pour des pH de l'ordre de 6,5. Hansen *et al.* [4] confirment qu'un pH supérieur à 6,8 limite la formation de NCl_3 .

Plus la concentration de ces substances volatiles dans l'eau des piscines et des stations thermales est élevée, plus leur concentration dans l'air au-dessus de la piscine le sera également. D'autre part, la vaporisation de la trichloramine est favorisée par une température de l'eau élevée, que l'on retrouve dans les centres aquatiques ludiques d'intérieur ou encore, par l'agitation de l'eau dans les bassins [5].

Selon une étude de Zwiener et Schmalz de 2015 (citée par Carter et Joll en 2017 [3]), la concentration atmosphérique en NCl_3 est passée de 0,11 mg/m³, en l'absence de nageur, à 0,36 mg/m³ après la venue d'écoliers dans une piscine. Le même constat a été fait lors d'une compétition de natation, pendant laquelle la concentration en NCl_3 dans l'air a doublé le premier jour de compétition, et n'a cessé d'augmenter les jours suivants [3]. Cette production de NCl_3 est due à la réaction de la sueur des sportifs avec le chlore utilisé pour la désinfection. La qualité de la ventilation des locaux joue un rôle important dans l'accumulation de NCl_3 dans l'air des piscines [6]. Selon Gérardin *et al.* [7], il est possible de prédire la concentration de NCl_3 produites dans les eaux de piscine à partir du taux de chloration, des paramètres physicochimiques tels que la température, le pH de l'eau et le taux de fréquentation du lieu, en suivant un modèle basé sur les mécanismes réactionnels, les propriétés physico-chimiques, les équilibres thermodynamiques et les mécanismes de transfert de la phase liquide vers la phase gazeuse. La validation de ce modèle a permis aux auteurs de prédire les émissions de NCl_3 au cours du temps. Ils ont également pu conclure sur le rôle important du pH sur la formation de ces composés. En effet ils ont observé une augmentation de 40 % de la concentration en NCl_3 lorsque le pH diminuait de 7,25 à 7 [7].

L'exposition à ce composé volatil potentiellement dangereux pour la santé présente un risque non seulement pour les nageurs réguliers, mais surtout pour les travailleurs dans les piscines. En effet, la présence de trichloramine dans l'atmosphère peut engendrer, en fonction de sa concentration, des irritations oculaires, cutanées et respiratoires. Ce composé volatil peut également être à l'origine de rhinites et d'asthmes, reconnus comme maladies professionnelles dans le tableau n° 66 du Régime général de la Sécurité sociale¹. On observe des syndromes respiratoires et d'irritations oculaires parmi le personnel des centres aquatiques [8], avec



© Serge Morillon/INRS/2016

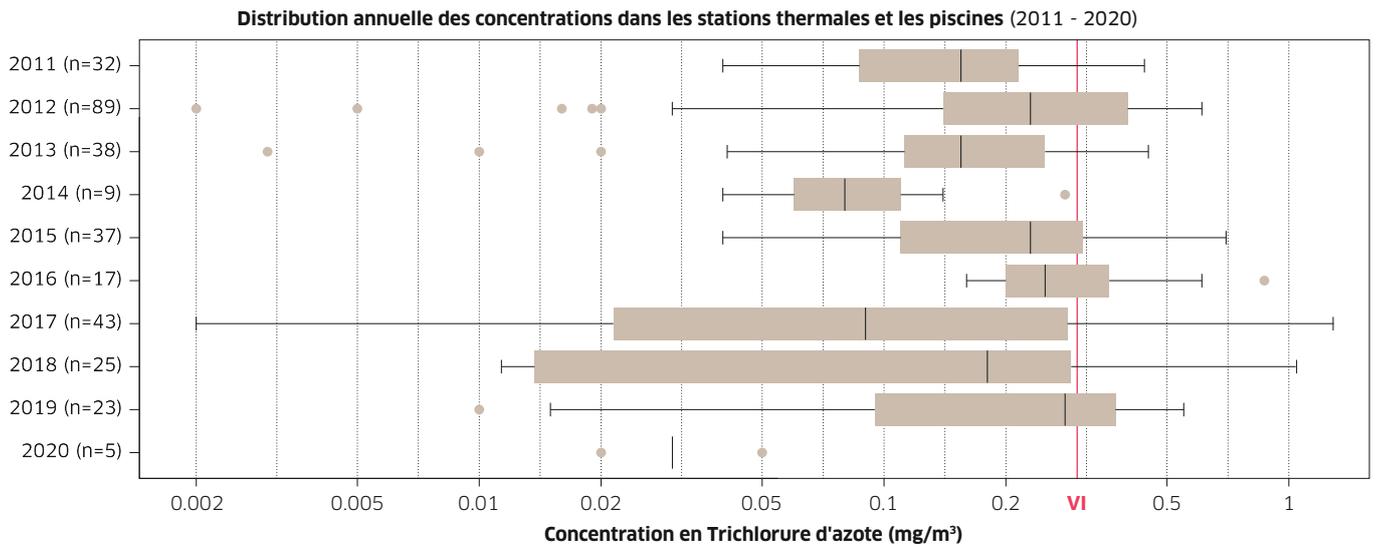
une relation dose - effet, selon une étude de Massin *et al.*, menée en 1998 [9], entre la concentration atmosphérique en NCl_3 et la fréquence des pathologies observées parmi le personnel des centres aquatiques : maîtres-nageurs, surveillants de baignades, personnel de maintenance et d'entretien.

En 1994, l'INRS préconise une « valeur d'inconfort » (VI) en dessous de laquelle les salariés des établissements, ainsi que les baigneurs, ne doivent pas ressentir de symptômes liés à la présence de la trichloramine, égale à 0,5 mg/m³ [10], valeur reprise par l'Organisation mondiale de la santé [11]. Depuis, l'Anses, dans un avis de juin 2010, préconise une VI de 0,3 mg/m³. Cette valeur est également proposée par Parrat *et al.* [12]. En Suède, Westerlund *et al.* conseillent en 2015 une valeur limite d'exposition de 0,25 mg/m³ pour des prélèvements individuels [13]. Selon une revue de la littérature, réalisée par Wastensson et Eriksson en 2020, une *Occupational exposure limit* (OEL) basée sur les effets pour la santé pourrait être proposée ; elle serait de 0,2 mg/m³ pour des prélèvements d'ambiance dans les piscines [14].

Afin d'évaluer les niveaux de concentration au trichlorure d'azote dans les stations thermales et les piscines, cet article dresse un portrait des mesures enregistrées dans la base de données Colchic, entre 2011 et 2020. Les données exploitées concernent les mesures d'ambiance et individuelles, prélevées pendant une durée comprise entre 60 et 480 minutes et en référence à la VI recommandée par l'Anses de 0,3 mg/m³. Dans le but de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'exposition entre différents métiers, des indices d'exposition (IE) ont été calculés. Les IE représentent le ratio entre la concentration mesurée et la valeur d'inconfort VI. Par exemple, une mesure ayant une concentration supérieure

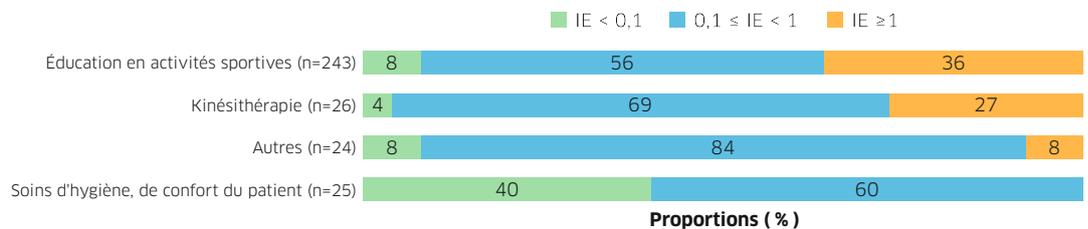
Prélèvement de l'eau en piscine pour déterminer le taux de chlore.





↑ FIGURE 1 Distribution annuelle des niveaux de concentration en trichlorure d'azote, entre 2011 et 2020.

→ FIGURE 2 Distribution des niveaux de concentration en trichlorure d'azote par métiers, entre 2011 et 2020.



à la VI aurait un IE supérieur à 1. Les valeurs dont la concentration était sous la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2.

État des lieux des données dans Colchic

Un total de 318 mesures a été relevé dans Colchic entre 2011 et 2020, dans les stations thermales et les piscines. Le nombre de mesures annuelles varie de 5 (en 2020) à 89 (en 2012), avec une médiane de 29 mesures. La majorité des prélèvements ont été réalisés en ambiance de travail (93 %) et les 7 % restant en individuel, c'est-à-dire au niveau des voies respiratoires du travailleur. Les prélèvements et les analyses ont été effectués en suivant la méthode décrite dans la fiche MétroPol M-104² de l'INRS. Globalement, 30 % des concentrations mesurées dépassent la valeur d'inconfort VI.

Avec respectivement 46 % et 43 % de dépassement de la VI, les années 2012 et 2019 enregistrent les plus fortes concentrations mesurées en trichlorure d'azote (cf. Figure 1).

La Figure 2 présente la distribution des IE par métier. Celui présentant la plus grande proportion de dépassement de la valeur d'inconfort est l'éducateur en activités sportives, dans les piscines municipales et les centres aquatiques, avec 36 % de dépassements. Ce métier regroupe à la fois les surveillant(e)s de baignade, les

maîtres-nageurs(ses) – sauveteurs(ses) et les éducateurs(trices) d'activités physiques. Les kinésithérapeutes, qui comptent plus d'un dépassement sur quatre, ont une activité rattachée aux centres de balnéothérapie et à l'hydrothérapie.

Discussion - Conclusion

Selon les principes généraux de prévention³, l'employeur doit supprimer ou réduire les risques chimiques pour préserver la santé et la sécurité des salariés. Pour limiter l'exposition des travailleurs et des baigneurs, il est recommandé de ventiler les locaux, en assurant un renouvellement d'air suffisant, d'adapter le taux de recyclage de l'air en fonction de la gêne du personnel, et de limiter le fonctionnement des jeux d'eau dans les bassins, ou de les alterner [15]. Le pH de l'eau, la concentration en chlore et la température de l'eau sont des facteurs importants dans la production et la vaporisation de NCl₃ [5, 7]. L'ajustement de ces paramètres permet de limiter l'exposition à ce polluant des utilisateurs et des professionnels dans l'atmosphère des piscines. Bien entendu, il est important de dissocier les piscines et les stations thermales en intérieur de celles en extérieur qui, de par leur ventilation naturelle, limitent les expositions par inhalation aux trichloramines. Dans son avis du 10 juin 2010, l'Anses recommande de classer les piscines dans la catégorie

« Bâtiment à pollution spécifique », ce qui impose un renouvellement d'air de 60 m³/h par personne présente fixé par l'article R. 4222-6 du Code du travail [16].

Pour limiter la génération de trichloramines dans l'eau par réaction chimique, il est important de sensibiliser les baigneurs aux règles d'hygiène, avant et pendant la baignade : douche obligatoire avant la baignade, passage par le pédiluve, port du bonnet de bain... [16].

Deux études récentes ont mis en évidence une corrélation entre la concentration en NCl₃ et celle du dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'air des piscines [17, 18]. Nitter et Svendsen [18] proposent de suivre en continu la concentration en CO₂, utilisée comme traceur, pour ajuster au mieux le renouvellement de l'air dans les piscines, à défaut d'utiliser un analyseur en continu de NCl₃. L'INRS met à disposition différents outils permettant d'évaluer ce risque et de le réduire :

- un outil d'aide à la décision, pour la mise en place de mesures de prévention de la formation de la trichloramine, dans les halls des établissements aquatiques : « Aquaprev⁴ ». Il permet d'aider les professionnels à prédire les concentrations en NCl₃ en fonction de la configuration des installations, de la fréquentation des lieux (nombre de

nageurs), des paramètres de l'eau et du traitement d'air en place dans l'établissement ;

- le dispositif « Prophète⁵ » (Procédé photocatalytique d'élimination et de traitement des effluents), pour l'amélioration de la qualité de l'air, en extrayant par la technique de strippage et décomposant par photocatalyse la trichloramine de l'eau des piscines ;
- un dispositif de prélèvement : « Triklorame⁶ ». Ce kit de mesure de la trichloramine dans l'air permet de réaliser un suivi régulier, par le personnel des établissements, de cette substance, et de prendre rapidement les mesures nécessaires pour maintenir sa concentration en deçà de la valeur limite recommandée. ●

1. Tableau n° 66 des maladies professionnelles du Régime général. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html. Voir aussi : Documents pour le médecin du travail, 2003, 94, TK 15, p. 224.

2. Voir : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_104.

3. Voir : www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html.

4. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil55.

5. Accessible sur : www.inrs.fr/services/innovation/equipement/prophete.html.

6. Accessible sur : www.inrs.fr/services/innovation/evaluation-diagnostic/triklorame.html.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ANSES – Risques sanitaires des piscines à usages collectifs. Accessible sur : www.anses.fr/fr/content/risques-sanitaires-des-piscines-%C3%AO-usages-collectifs (consulté le 30 juin 2021).

[2] GÉRARDIN F. – Trichloramine : de l'émergence d'un risque aux solutions de prévention. *Hygiène & sécurité du travail*, 2016, 245, pp. 58-65. Accessible sur : www.hst.fr.

[3] CARTER R.A.A., JOLL C.A. – Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: a critical review. *Journal of environmental science*, 2017, 58, pp. 19-50.

[4] HANSEN K.M.S., ALBRECHTSEN H.J., ANDERSEN H.R. – Optimal pH in chlorinated swimming pools – balancing formation of by-products. *Journal of water and health*, 2013, 11(3), pp. 465-472.

[5] HERY M., HECHT G., GERBER J.M. ET AL. – Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Annals of occupational hygiene*, 1995, 39, pp. 427-439.

[6] LÉVESQUES B., VEZINA L., GAUVIN D., LEROUX P. – Investigation of air quality problems in an indoor swimming pool: a case study. *Annals of occupational hygiene*, 2015, 59(8), pp. 1086-1089.

[7] GÉRARDIN F., CLOTEAUX A., MIDOUX N. –

Modeling of variations in nitrogen trichloride concentration over time in swimming pool water. *Process safety and environmental protection*, 2015, 94, pp. 452-462.

[8] LÖFSTED H., WESTERLUND J., GRAFF P. ET AL. – Respiratory and ocular symptoms among employees at Swedish indoor swimming pools. *Journal of occupational and environmental medicine*, 2016, 58(12), pp. 1190-1195.

[9] MASSIN N., BOHADANA A., WILD P. ET AL. – Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pool. *Occupational and environmental medicine*, 1998, 55, pp. 258-263.

[10] GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P. ET AL. – Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. *Journal of applied toxicology*, 1994, 14, pp. 405-409.

[11] OMS / WORLD HEALTH ORGANIZATION – Guidelines for safe recreational water environments – Volume 2: Swimming pools and similar environments, 2006.

[12] PARRAT J., DONZÉ G., ISELI C. ET AL. – Assessment of occupational and public exposure to trichloramine in Swiss indoor swimming pools: a proposal of an occupational exposure limit. *Annals of occupational hygiene*, 2012, 56(3), pp. 264-277.

[13] WESTERLUND J., GRAFF P., BRYNGELSSON I.L. ET AL. – Occupational exposure to trichloramine and trihalomethanes in Swedish indoor swimming pools: evaluation for personal and stationary monitoring. *Annals of occupational hygiene*, 2015, 59(8), pp. 1074-1084.

[14] WASTENSSON G., ERIKSSON K. – Inorganic chloramines: a critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting. *Critical review in toxicology*, 2020, 50(3), pp. 219-271.

[15] INRS – Trichloramine dans les piscines et les centres aquatiques. 2019, ED 6280. Accessible sur : www.inrs.fr.

[16] ANSES – Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines – Partie I : les piscines réglementées, 2010. Accessible sur : www.anses.fr.

[17] WU T., FÖLDES T., LEE L.T., ET AL. – Real-Time Measurements of gas-phase Trichloramine (NCl₃) in an indoor aquatic center. *Environmental science and technology*, 2021, 55, pp. 8097-8107.

[18] NITTER T.B., SVENDSEN K.H. – Covariation amongst pool management, trichloramine exposure and asthma for swimmers in Norway. *Science of the total environment*, 2020, 723. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138070.