

Notes techniques

# TRICHLORAMINE: DE L'ÉMERGENCE D'UN RISQUE AUX SOLUTIONS DE PRÉVENTION

La trichloramine, formée à partir du chlore et des substances apportées par les baigneurs dans les piscines, est un irritant des voies respiratoires des salariés de ces lieux de loisirs. Dans une démarche de prévention globale, et après plusieurs études, l'INRS propose des outils pour la prévention de ce risque professionnel qui sont présentés dans cet article.

FABIEN  
GÉRARDIN  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

Si le chlore est, à ce jour, l'agent désinfectant le plus communément employé dans les centres aquatiques, il n'en demeure pas moins un produit particulièrement réactif au contact des substances azotées et carbonées contenues dans l'eau de baignade. Apportées en fortes quantités dans les bassins, ces substances d'origine anthropique (produites par l'homme) sont, avec le chlore, au cœur d'une chimie très complexe. Celle-ci conduit, entre autres, à la formation de sous-produits tels que les haloformes, les acides haloacétiques, les haloacétonitriles et les chloramines dont la forme la plus halogénée, le trichlorure d'azote (trichloramine,  $\text{NCl}_3$ ), est très volatile (Cf. Figure 1). Dégazé dans les halls des établissements, ce dernier, fortement irritant pour les voies respiratoires et pour les yeux, est à l'origine de plaintes de la part du personnel de surveillance posté à proximité des bassins.

Principale source de préoccupation des personnels de piscine et des hygiénistes du travail, le trichlorure d'azote a fait l'objet d'investigations approfondies à l'INRS depuis environ vingt ans:

- une méthode de dosage spécifique au trichlorure d'azote a été développée ainsi que des outils de mesure sur site [1];
- une étude visant à évaluer les conséquences d'une exposition du personnel à la trichloramine a conduit à mettre en évidence son caractère d'irritant respiratoire et oculaire et a permis de proposer une valeur d'inconfort ( $0,5 \text{ mg/m}^3$ ), valeur à partir de laquelle les personnes exposées durant un poste de travail ressentent une gêne [2];
- une étude épidémiologique auprès du personnel de surveillance de baignade de 63 établissements a montré un lien significatif entre le niveau d'exposition au trichlorure d'azote et l'intensité des irritations ressenties [3].

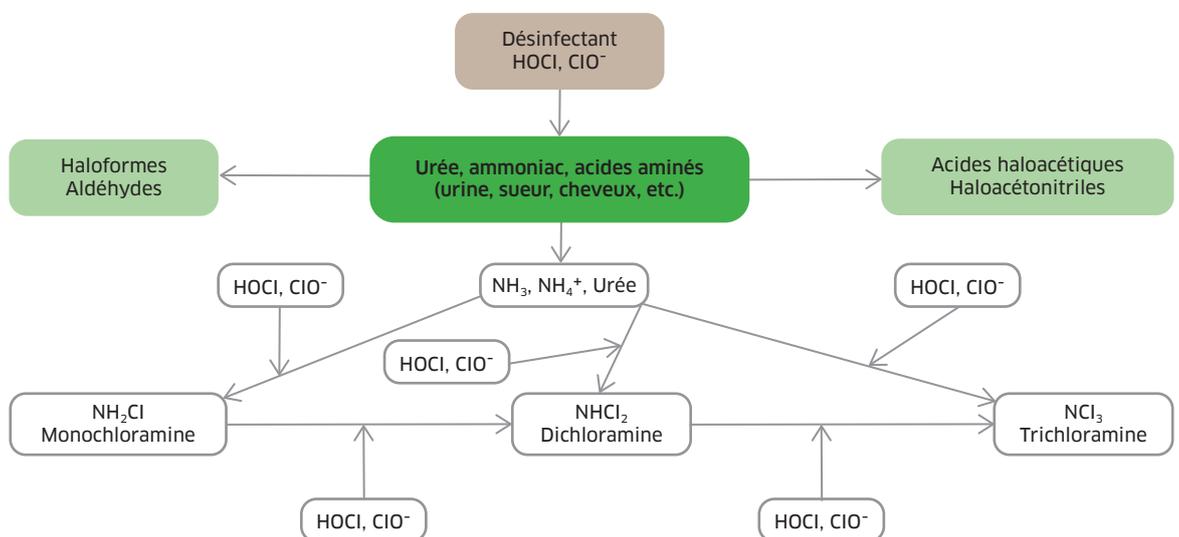


FIGURE 1 → Schéma simplifié de la réaction du chlore ( $\text{HOCl/ClO}^-$ ) sur la matière organique anthropique dans une eau de piscine.

Généralement très difficile à respecter durant les jours de grande affluence, la valeur d'inconfort est fréquemment dépassée dans les établissements à vocation ludique. Au-delà du contrôle de l'application des règles élémentaires d'hygiène de la clientèle, l'exploitant ne disposait pas, jusqu'à ces dernières années, de solution permettant la maîtrise de l'exposition des personnels. La dilution, c'est-à-dire l'apport massif d'eau neuve en début de journée, et une ventilation conséquente demeuraient les seuls moyens de réduire significativement la teneur en trichlorure d'azote dans l'atmosphère des piscines. Par ailleurs, la substitution du chlore par un autre composé bactéricide, n'a pas, à ce jour, apporté de réponse satisfaisante à la problématique.

À partir de cet état des lieux, la recherche de solutions de prévention visant la maîtrise de l'exposition au trichlorure d'azote des différentes populations a été entreprise par l'INRS. Ce travail a abouti au développement d'un outil informatique pour la compréhension de la formation et du comportement de la trichloramine en fonction des paramètres de fonctionnement de la piscine. Un dispositif simplifié de mesure de la concentration atmosphérique en  $\text{NCl}_3$  ainsi qu'un système de traitement de l'eau et de l'air ont également été développés à l'issue des études menées.

### Comprendre et anticiper la formation de la trichloramine

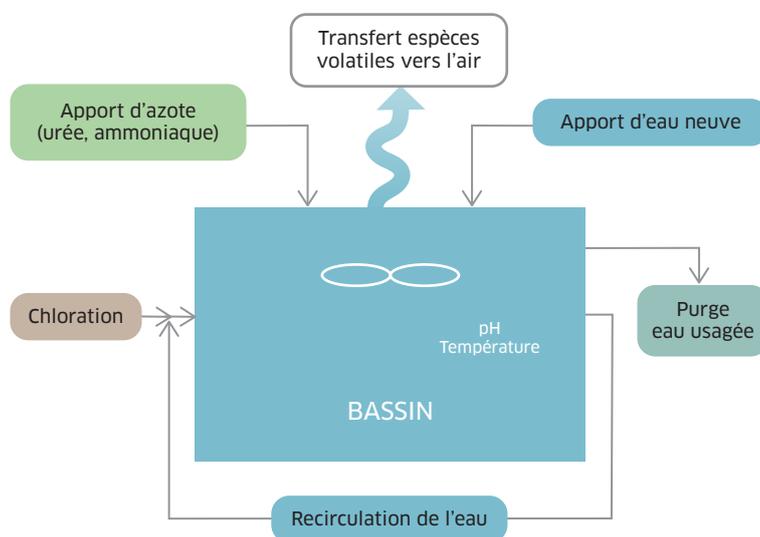
Les plus récents travaux de l'INRS ont abouti à la modélisation de l'évolution temporelle de la concentration de  $\text{NCl}_3$  dans un bassin de natation traditionnel en fonction de ses paramètres de fonctionnement et des conditions de fréquentation [4]. Le modèle repose sur un bilan de matière en intégrant la cinétique de formation de  $\text{NCl}_3$  dans le bassin et de son transfert à l'interface « air/eau » (Cf. Figure 2). L'outil de calcul conçu dans le cadre de cette étude permet de prédire de manière satisfaisante l'évolution dans le temps de la concentration d'espèces chimiques ciblées telles que le trichlorure d'azote ou encore l'urée. Par ailleurs, ces travaux ont également permis de caractériser l'écoulement d'un bassin par la mise en évidence de ses zones de mélange, de recirculation ou encore de ses volumes morts. Le modèle proposé aux concepteurs, aux exploitants de piscines et, plus généralement, aux professionnels de la prévention permet, d'une part, de prévoir, de limiter et/ou d'anticiper la formation de la trichloramine et, d'autre part, d'optimiser le fonctionnement de leur installation de traitement de l'eau. La validation expérimentale du modèle a été entreprise dans une piscine couverte possédant un seul bassin. Sa surface et son volume sont respectivement  $250 \text{ m}^2$  ( $25 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ) et  $377 \text{ m}^3$ . Le

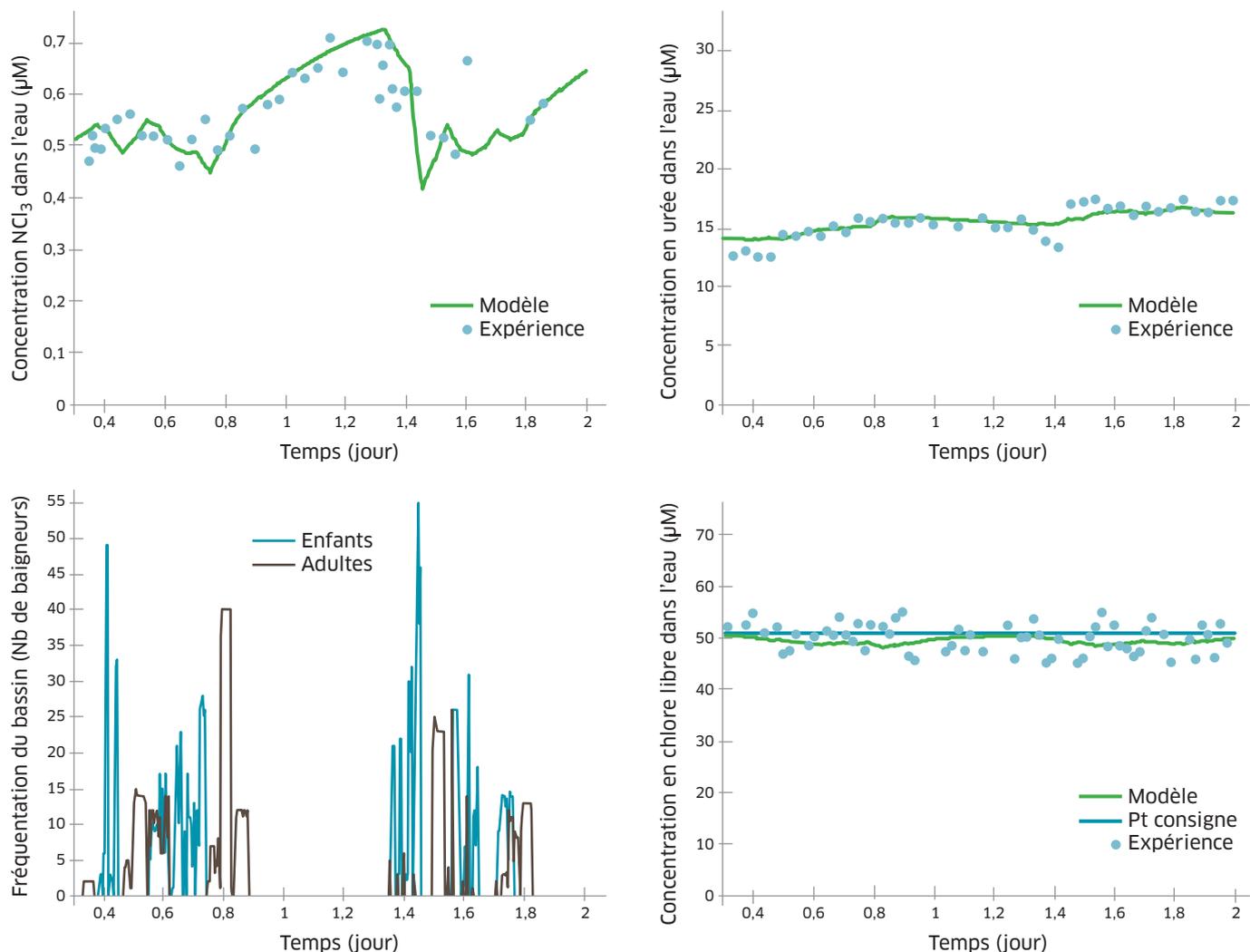
débit de recirculation d'eau est de  $190 \text{ m}^3/\text{h}$ . La piscine fonctionne en mode hydraulique mixte: 50% du débit est recueilli par les goulottes de surverse et 50% est collecté par la bonde de fond du bassin. Le temps de séjour moyen est 7 140 secondes, soit environ 2 heures. La chloration de l'eau est assurée par ajout d'hypochlorite de sodium. Une boucle de régulation permet de maintenir la concentration du chlore libre à une valeur de consigne de  $3,6 \text{ mg/l}$ . Le pH est maintenu à 7,25 et la température de l'eau est de  $28^\circ\text{C}$ . Le modèle permet par exemple de représenter l'évolution de la concentration en fonction du temps pour les composés présents dans l'eau du bassin tels que la trichloramine, l'urée ou encore le chlore libre (Cf. Figure 3).

Il est également possible d'exploiter le modèle pour estimer la concentration de la trichloramine dans l'air du hall de la piscine au cours du temps. La figure 4 représente la modélisation de l'évolution de la concentration de la trichloramine dans le hall de la piscine expérimentale sur une durée de deux jours.

Si le modèle paraît suffisamment robuste pour prédire la formation du trichlorure d'azote en fonction de la fréquentation, il se révèle particulièrement commode pour évaluer l'influence de certains paramètres physico-chimiques du bassin sur l'évolution de la concentration de  $\text{NCl}_3$  dans le hall. Par exemple, en conservant les mêmes conditions de fonctionnement que celles décrites pour la piscine expérimentale, la diminution de la valeur de consigne<sup>1</sup> en chlore libre de  $3,6$  à  $1 \text{ mg/l}$  permet de réduire significativement la formation en  $\text{NCl}_3$  dans le bassin et son transfert vers le hall de l'établissement. Rappelons que la valeur de consigne représente la concentration en chlore libre à maintenir dans l'eau alimentant le bassin par le système de régulation de la chloration. Par ailleurs, l'influence de la mise en œuvre d'un sys-

↓ FIGURE 2  
Matière appliquée au bassin.





↑ FIGURE 3 Évolution de la fréquentation et de la concentration de la trichloramine, en urée et en chlore libre dans le bassin en fonction du temps.

tème de strippage du NCl<sub>3</sub> dans la boucle de circulation de l'eau peut être également évaluée [5]. Le strippage repose sur le principe de l'extraction gaz/liquide, air/eau dans ce cas, afin de favoriser le transfert du polluant contenu dans l'eau vers l'air. Il peut être réalisé par soufflage d'air ou par une chute d'eau appropriée [6]. L'air contenant les composés volatils est ensuite traité avant son rejet dans l'environnement. Ainsi, un système de strippage, dont l'efficacité propre est de 75%, fonctionnant de 6h à 20h permettrait de réduire d'un facteur deux la concentration de NCl<sub>3</sub> dans le hall de la piscine expérimentale au cours de la journée. La chloration limitée à 1 mg/l conjuguée à l'utilisation du dispositif de strippage réduirait considérablement la production de NCl<sub>3</sub>, soit environ d'un facteur 5 par rapport à la situation initiale, et contribue de manière significative à lisser les pics d'exposition (Cf. Figure 5).

### Solutions de prévention

Si le modèle théorique a fait l'objet d'une valorisation scientifique [4], il a également été trans-

posé en un outil de prévention disponible pour les professionnels de ce secteur: « Aquaprev » est un outil informatique d'accompagnement des propriétaires, des gestionnaires d'établissements aquatiques, des concepteurs/bureaux d'études, des responsables hygiène et sécurité, etc., afin d'évaluer *a priori* la concentration atmosphérique au cours du temps en fonction des paramètres de fonctionnement de l'établissement. Cette application permet aux utilisateurs d'identifier les paramètres d'influence de la formation de NCl<sub>3</sub> dans les bassins et d'agir en conséquence. Cet outil se présente sous la forme de pages Web permettant la saisie de données relatives à l'établissement pour lequel l'utilisateur souhaite obtenir une projection de l'évolution de la concentration de la trichloramine durant une période qui peut s'étendre de deux jours à une semaine.

Les données à saisir sont:

- la géométrie des bassins et des halls (volumes et surfaces);

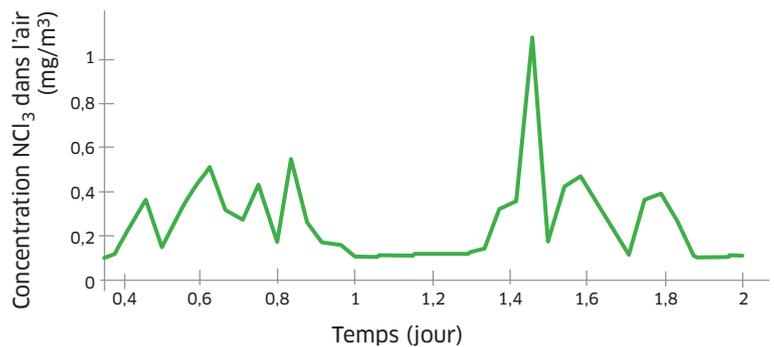
- les paramètres de fonctionnement des halls et des bassins;
- les horaires d'ouverture et de fermeture des bassins;
- la fréquentation horaire des bassins.

À l'issue de la saisie des différentes données, l'application délivre sous l'onglet « Résultats » une prévision horaire de la concentration en  $\text{NCl}_3$  dans chaque hall de l'établissement sur la période choisie. La teneur en  $\text{NCl}_3$  est représentée selon trois niveaux (Cf. Figure 6) :

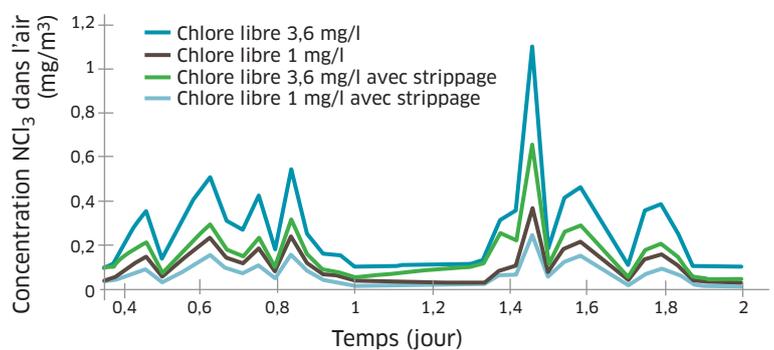
- niveau vert: situation de confort ( $< 0,3 \text{ mg/m}^3$ );
- niveau orange: situation d'alerte ( $> 0,3 \text{ mg/m}^3$  et  $< 0,5 \text{ mg/m}^3$ );
- niveau rouge: situation d'inconfort ( $> 0,5 \text{ mg/m}^3$ ).

L'utilisateur a la possibilité de mettre en œuvre, s'il le souhaite, des mesures correctives en agissant sur les paramètres d'influence du niveau de concentration (exposition) dans le hall de l'établissement. Il peut ensuite générer une nouvelle prévision. Les paramètres sur lesquels il est incité à agir sont :

- la limitation de l'apport en matière organique (principalement de l'urée) dans le bassin par une amélioration de l'hygiène des baigneurs (campagne de sensibilisation et obligations de se doucher avant l'entrée dans les bassins et les pédiluves, de porter un bonnet, etc.). À ce titre, l'application propose à l'utilisateur de faire varier l'apport d'urée;
- l'organisation et la répartition des activités ludiques et pédagogiques tout au long des plages d'ouverture des bassins;
- l'apport d'eau neuve dans les bassins, pour réduire la concentration initiale en précurseurs de sous-produits chlorés tels que l'urée. Il existe d'ailleurs des dispositifs de mesure de la concentration de l'urée disponibles sur le marché pour suivre l'évolution sur site de cette concentration dans l'eau des bassins;
- la température de l'eau, car il s'agit d'un paramètre important dans les processus chimiques et physiques qui interviennent dans les bassins. En effet, si une augmentation de la température peut mener à un accroissement de la vitesse de formation des sous-produits de désinfection, elle contribue également à une augmentation significative de la volatilité des composés dissous. Il convient d'adapter la température de l'eau à l'activité du bassin;
- le pH, parce qu'il s'agit d'un paramètre central pour la gestion de la qualité de l'eau. Ce paramètre intervient aussi bien dans les équilibres et dans les réactions chimiques que dans les processus physico-chimiques. L'influence du pH sur la formation de la trichloramine est significative: ainsi un pH plutôt acide en favorisera la formation;
- la consigne de la concentration en chlore libre. La concentration en chlore libre est un para-



↑ FIGURE 4 Modélisation de l'évolution de la concentration de  $\text{NCl}_3$  dans l'air de la piscine.



↑ FIGURE 5 Modélisation de la variation de la concentration de  $\text{NCl}_3$  dans l'air au cours du temps pour différentes concentrations de chlore libre avec et sans strippage.

↑ FIGURE 6 Résultats de simulation de la teneur en trichloramine dans l'air du hall de l'établissement (page web).

## RÉSUMÉ

Si le chlore est, à ce jour, l'agent désinfectant le plus communément employé dans les centres aquatiques, il n'en demeure pas moins un produit particulièrement réactif au contact des substances azotées. Apportées en fortes quantités dans les bassins par les baigneurs, ces substances (urée, sueur, cheveux...) sont, avec le chlore, au cœur d'une chimie complexe qui conduit, entre autres, à la formation

de chloramines et notamment de la trichloramine ( $\text{NCl}_3$ ). Dégazée dans les halls des établissements, elle est très irritante pour les voies respiratoires et pour les yeux du personnel de surveillance posté à proximité des bassins. La recherche de solutions de prévention visant la maîtrise de l'exposition à la trichloramine des salariés a été entreprise à l'INRS. Cette démarche a abouti au développement d'un outil

informatique pour la compréhension de la formation et du comportement de la trichloramine en fonction des paramètres de fonctionnement de la piscine. Un dispositif simplifié de mesure de la concentration atmosphérique de  $\text{NCl}_3$  ainsi qu'un système de traitement de l'eau et de l'air ont également été développés à l'issue de ces travaux.

### *Trichloramine: from the emergence of a risk to prevention solutions*

*Although chlorine is, to date, the disinfectant that is in most widespread use in swimming pools, it remains, nonetheless, particularly reactive to contact with substances that contain nitrogen. Brought into swimming pools in large quantities by bathers, such substances (urea, sweat, hair, etc.) are, together with chlorine, at the core of complex chemistry that leads, among other things, to formation*

*of chloramines, and in particular of trichloramine ( $\text{NCl}_3$ ). Degassed into the halls of indoor pools, it is a powerful irritant for the respiratory tracts and for the eyes of the lifeguards at their surveillance stations close to the pools. INRS has undertaken to seek prevention solutions aimed at controlling exposure of employees to trichloramine. This approach has led to the development of a*

*computer tool for understanding how trichloramine is formed and behaves depending on the operating parameters of the swimming pool. A simplified system for measuring the concentration of  $\text{NCl}_3$  in atmospheres and a system for treating the water and the air have also been developed as a result of this work.*

mètre important dans le mécanisme et la cinétique de formation des chloramines et de  $\text{NCl}_3$  en particulier. Ainsi, de manière schématique, plus la concentration en chlore libre est élevée, plus la formation de chloramines dans le bassin est rapide et importante. En accord avec les autorités en charge du contrôle sanitaire de l'établissement, il est conseillé d'éviter, en fonctionnement normal, une surchloration et d'ajuster une valeur de consigne en chlore libre optimisée. Cette valeur permet de limiter la formation de la trichloramine et de garantir une qualité bactériologique de l'eau satisfaisante;

- le débit d'air de ventilation du hall de la piscine, qui peut être partiellement ou en totalité recyclé. Le taux de recyclage est généralement ajusté en fonction de la valeur de consigne de l'humidité relative dans le hall de l'établissement. Toutefois, l'augmentation manuelle de la proportion de l'apport d'air neuf dans le hall par la réduction du taux de recyclage peut être réalisée dans des situations de gêne ressentie par le personnel, dont l'origine peut être une concentration en  $\text{NCl}_3$  trop élevée. Si la capacité de la centrale d'air de l'établissement le permet, une augmentation du débit nominal d'air est également une solution pour contribuer à maîtriser l'exposition des personnels à la trichloramine;

- l'extraction à l'air de la trichloramine. La forte volatilité de  $\text{NCl}_3$  permet de proposer des systèmes d'extraction (strippage) qui consistent à mettre en contact l'eau du bassin avec de l'air. Les établissements sont systématiquement équipés de bacs tampons (réservoirs destinés à amortir les variations de niveaux des baignoires en fonction de leur fréquentation) qui peuvent être, après aménagements spécifiques, le lieu de dégazage de  $\text{NCl}_3$ .

L'utilisateur a ensuite la possibilité de simuler d'autres configurations, d'affiner les paramètres cités précédemment et d'améliorer les conditions de travail de son établissement. Il ne s'agit pas de déterminer le taux de  $\text{NCl}_3$  ambiant, mais de mesurer l'impact de changements ou de combinaisons gagnantes (anticiper une augmentation de la ventilation lors de pics de fréquentation, etc.).

### **Un procédé propre et sûr pour l'extraction et la transformation de la trichloramine**

L'exposition des personnels au  $\text{NCl}_3$  à des valeurs inférieures à la valeur d'inconfort est d'autant plus difficile à respecter que la valeur proposée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) ( $0,3 \text{ mg/m}^3$ ) est inférieure à celle recommandée auparavant par l'Institut ( $0,5 \text{ mg/m}^3$ ) [7].

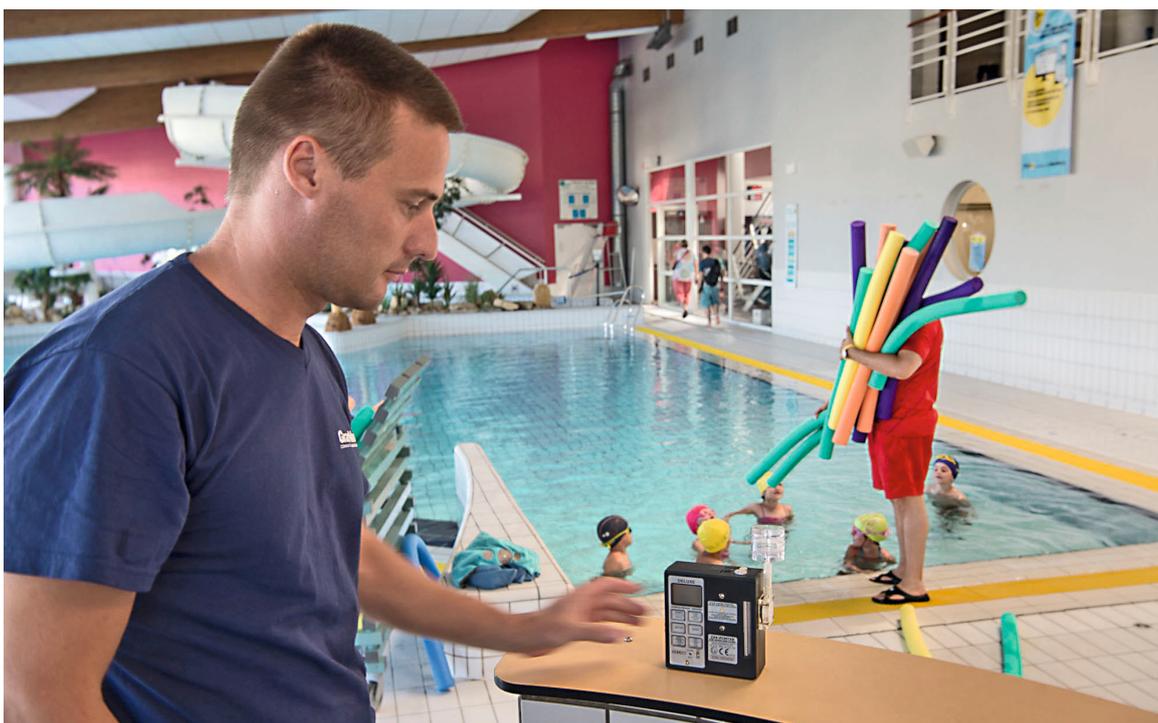
La recherche de solutions technologiques pour maîtriser l'exposition au  $\text{NCl}_3$  des différentes populations a été entreprise par l'INRS. Si des technologies de traitement des chloramines ont été mises sur le marché au cours des deux dernières décennies par les industriels, elles n'ont pas totalement répondu à la problématique. La mise en place de certains appareils, par la suite largement commercialisés, a eu pour conséquence de déplacer le risque d'exposition d'une population vers une autre. Ainsi, les déchloramineurs UV dont la propension à générer des sous-produits particulièrement toxiques (haloformes, chlorure de cyanogène, dichloroacétonitrile) sont devenus une préoccupation majeure pour les autorités sanitaires de différents pays [7]. Par ailleurs, l'efficacité de ces appareils vis-à-vis de la réduction de l'exposition à  $\text{NCl}_3$  des personnels n'est pas avérée. En revanche, d'autres techniques reposant sur le principe de l'extraction de  $\text{NCl}_3$  contenu dans les eaux de baignade par de l'air (strippage) ont été développées. Au-delà d'une efficacité avérée, ces systèmes, lorsqu'ils sont associés à un dispositif de traitement de l'effluent extrait, permettent également de limiter l'impact sur l'environnement.

Les locaux techniques des piscines sont, pour la plupart, peu spacieux et la mise en place d'une tour de strippage sur le circuit de recyclage de l'eau est rarement possible. Les établissements sont systématiquement équipés de bacs tampons qui peuvent être, après aménagements spécifiques, des lieux de dégazage de  $\text{NCl}_3$ . Si des installations conçues empiriquement par les exploitants (arrivée de l'eau polluée en cascade dans le bac tampon) conduisent à des efficacités d'extraction très intéressantes [8], différents

contacteurs gaz/liquide adaptables aux bacs tampons des piscines ont été étudiés à l'INRS [6].

Robuste, rustique, peu coûteux et d'un fonctionnement simple, le strippage permet d'atteindre des rendements d'extraction de  $\text{NCl}_3$  supérieurs à 80 % et une atténuation très significative de l'exposition des personnes (opérateurs, baigneurs, etc.) [5]. Si la mise en place de ce type d'équipement sur les process existants apporte une réponse intéressante en termes de santé au travail et de santé publique pour les baigneurs, elle ne se révèle pas totalement satisfaisante d'un point de vue environnemental. En effet, les polluants extraits sont rejetés dans l'environnement sans avoir subi de traitement préalable, ce qui peut se révéler contraire aux exigences environnementales. Trop souvent, hygiénistes et protecteurs de l'environnement se sont opposés sur les recommandations à apporter aux industriels confrontés à un risque sanitaire. Faut-il privilégier les procédés propres au détriment des procédés sûrs et hygiéniques? La difficulté à apporter une réponse à cette question est souvent considérée comme la pierre d'achoppement d'une intégration vraiment réussie d'une solution technologique de prévention dans la vie d'un process industriel.

Ainsi, le développement d'une solution technologique, permettant la réduction de l'exposition des personnels au  $\text{NCl}_3$ , sera réellement abouti lorsqu'il intégrera les contraintes imposées par les règles de prévention sanitaires et environnementales. La nécessité de traiter l'effluent chargé en  $\text{NCl}_3$  avant son rejet dans l'environnement constitue donc une étape décisive dans l'acceptation



Un dispositif de prélèvement d'air pour évaluer l'exposition individuelle des salariés à la trichloramine.



du concept par l'ensemble des utilisateurs, des citoyens et des décideurs.

Le procédé retenu dans ce cas consiste à associer à l'étape de strippage un processus de transformation de  $\text{NCl}_3$  gazeux en chlore oxydant par l'action photocatalytique (Cf. Encadré et figure 7).

Les deux étapes qui consistent, d'une part, à extraire la trichloramine de l'eau et, d'autre part, à la transformer en chlore oxydant valorisable contribuent à limiter sensiblement les rejets de composés toxiques dans l'environnement. Si cette technologie implique l'utilisation d'une source d'énergie électrique, des travaux complémentaires sont actuellement menés afin d'exploiter le rayonnement solaire dont le spectre est compatible avec le processus photocatalytique.

### Outils d'évaluation de l'exposition à la trichloramine

Que l'on veuille utiliser des solutions technologiques de prévention ou bien un logiciel destiné à prédire le comportement de  $\text{NCl}_3$  dans une piscine, un suivi régulier de la concentration atmosphérique en  $\text{NCl}_3$  reste de toute façon nécessaire et complémentaire à l'utilisation de ces outils. À ce jour, il n'existe pas de dispositif de mesure de la teneur en  $\text{NCl}_3$  qui permette un suivi continu de l'exposition du personnel.

La méthode de prélèvement et d'analyse développée par l'INRS [1] qui consiste à échantillonner l'air pollué en  $\text{NCl}_3$ , au travers d'une cassette contenant des filtres imprégnés de trioxyde de diarsenic, est précise mais peu commode à utiliser en routine ou à des fins d'autocontrôles. En effet, cette méthode nécessite des moyens de laboratoire incompatibles avec des analyses réalisées *in situ*.

La prise en compte de ces contraintes a conduit l'INRS à proposer un outil simplifié principalement destiné aux exploitants de piscines, aux médecins

#### ENCADRÉ LA PHOTOCATALYSE

Efficace et techniquement abordable, la photocatalyse s'affiche de plus en plus fréquemment comme un recours technologique de choix pour la minéralisation d'un large panel de polluants. Toutefois, appliquée à la trichloramine gazeuse, la photocatalyse doit permettre non seulement la réduction de sa concentration dans l'effluent mais également sa valorisation. Ainsi, sous certaines conditions, l'oxydation photocatalytique conduit à la séparation de l'azote et du chlore de cette molécule. Elle contribue à la formation d'oxydes d'azote et surtout à de l'acide hypochloreux aux propriétés bactéricides reconnues. La photocatalyse présente l'intérêt d'opérer à température ambiante et à pression normale.

du travail et, de manière plus globale, aux professionnels de la prévention. « Triklorame® », composé d'un kit de matériels et de consommables, permet de réaliser de manière simple, rapide et peu coûteuse des prélèvements et des analyses de trichloramine (Cf. Figure 8). Cet ensemble fait appel à une méthode qui diffère de la méthode [1] par sa technique analytique. Si le prélèvement s'effectue de manière identique, l'analyse est réalisée par colorimétrie. Le colorimètre portable, préalablement étalonné à une longueur d'onde déterminée, fournit instantanément une valeur qui est aisément convertie en concentration en  $\text{NCl}_3$  atmosphérique. Néanmoins, cette technique nécessite l'emploi de réactifs et l'échantillon analysé devra être stocké et éliminé dans des conditions définies.

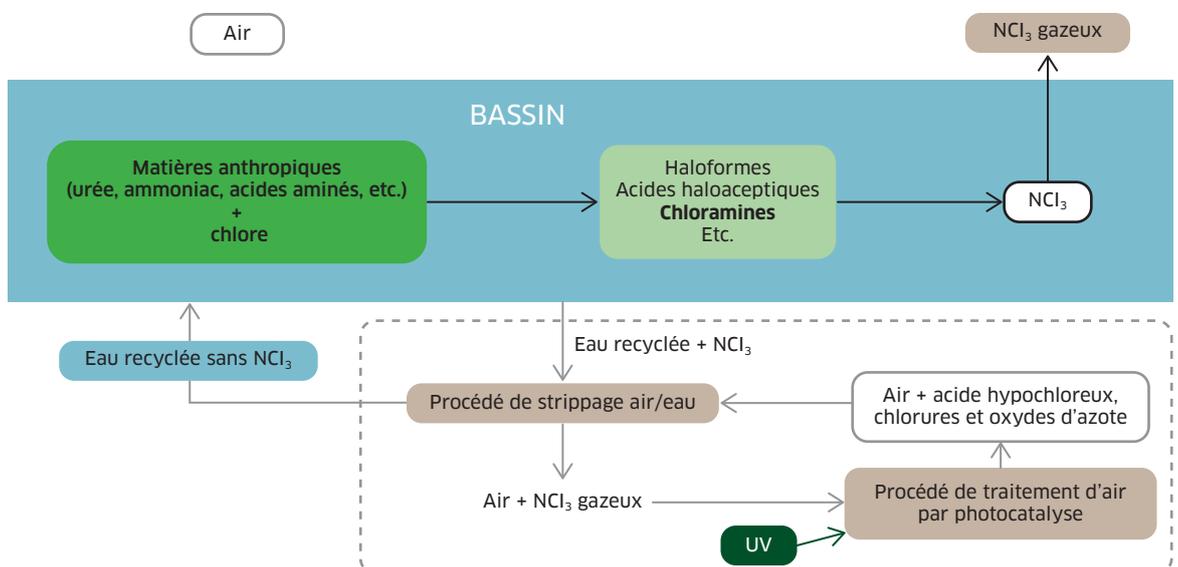


FIGURE 7 → Principe de fonctionnement du procédé d'extraction et de transformation de la trichloramine.

Actuellement, l'INRS poursuit ses travaux afin de répondre aux besoins de la prévention en termes de moyens d'évaluation, avec notamment la mise au point d'un dispositif de prélèvement passif (Cf. Figure 9). Le principe du dispositif consiste à réaliser un prélèvement passif de  $\text{NCl}_3$  contenu dans l'air par diffusion moléculaire du polluant gazeux vers un médium fibreux préalablement imprégné d'un catalyseur. Ce médium est éclairé avec une source lumineuse. Le  $\text{NCl}_3$  adsorbé à la surface du médium est rapidement décomposé. À l'issue de la période de prélèvement, les produits ainsi formés sont désorbés de la membrane à l'aide d'eau ultra pure. La quantification de ces composés est réalisée par une sonde spécifique. Une corrélation permet ensuite de relier simplement cette mesure et la concentration en  $\text{NCl}_3$  dans l'atmosphère en fonction du temps de prélèvement. D'un encombrement restreint et d'une autonomie de plusieurs dizaines d'heures, le dispositif est adapté pour réaliser des prélèvements pour des durées qui s'étendent d'une à huit heures.

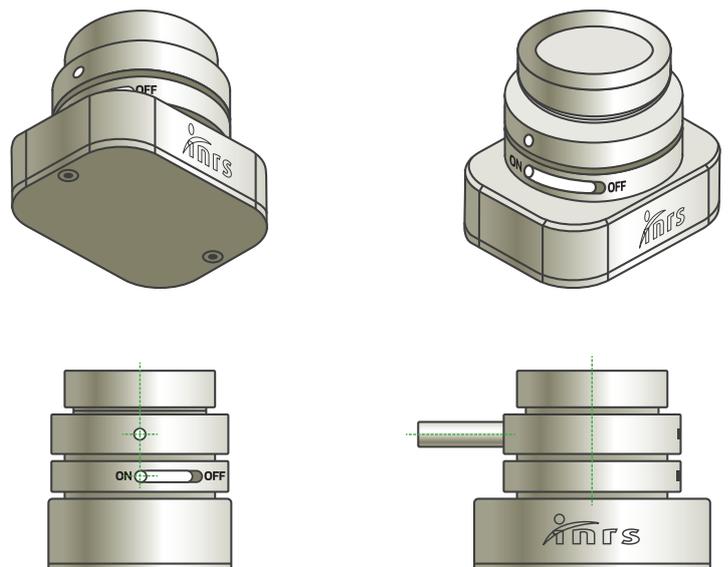
## Conclusion

Les travaux menés ont permis une avancée significative des connaissances sur la problématique de l'exposition professionnelle à la trichloramine. De l'émergence du risque jusqu'aux solutions technologiques de prévention, l'approche transversale menée par l'INRS sur le sujet a également contribué à mettre à disposition des différentes parties prenantes un outil de prédiction. Initiée à des fins de santé au travail, cette expertise pose aussi les bases d'une réflexion élargie à la santé publique ainsi qu'à la protection de l'environnement. ●

1. Le non-dépassement de cette valeur permet de limiter la formation de la trichloramine.



↑ FIGURE 8 Éléments de l'outil Triklorame®.



↑ FIGURE 9 Prototype de prélèvement passif pour la trichloramine.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] HÉRY M., HECHT G., GERBER J.-M., GENDRE J.-C., HUBERT G., REBUFFAUD J. *Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools*, *Annals of Occupational Hygiene*, 39, 1995, pp. 427-439.

[2] GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P., HECHT G., HÉRY M. Pouvoir irritant du chlore et du trichlorure d'azote chez la souris. INRS, Cahiers de notes documentaires, 156, 1994, pp. 293-295.

[3] MASSIN N., BOHADANA A. B., WILD P., HÉRY M., TOAMAIN J.-P., HUBERT G. *Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools*, *Occupational and Environmental Medicine*, 55, 1998, pp. 258-263.

[4] GÉRARDIN F., CLOTEAUX A., MIDOUX N. *Modeling of variations in nitrogen trichloride concentration over time in swimming pool water*, *Process Safety and Environmental Protection*, 9, 4, 2015, pp. 452-462.

[5] GÉRARDIN F., HECHT G., HUBERT-PELLE G., SUBRA I., GAGNAIRE F., HÉRY M., MASSIN N. Réduction de l'exposition des travailleurs au trichlorure d'azote par action sur les procédés dans deux secteurs d'activité. INRS, *Hygiène et sécurité du travail*, 201, 2005, pp. 9-18.

[6] GÉRARDIN F., MULLER-RODRIGUEZ N., QUENIS B. Strippage de la trichloramine dans les bacs tampons des piscines - Étude de différents contacteurs gaz/liquide, INRS,

Cahiers de notes documentaires, 184, 2000, pp. 25-35.

[7] ANSES. Évaluation des risques sanitaires liés aux piscines - Partie I : piscines réglementées, 2012.

[8] GÉRARDIN F., GERBER J.-M., HÉRY M., QUENIS B. Extraction de chloramines par contact gaz/liquide dans les eaux de piscines, INRS, Cahiers de notes documentaires, 177, 1999, pp. 21-29.