

→ *F. Gérardin, J.M. Gerber,
M. Héry, B. Quénis, Département
Ingénierie des Procédés, Centre de
recherche de l'INRS-Lorraine ;*

*avec la collaboration technique de
M. Galsomies, Directeur du Centre
nautique Maurice-Thorez,
93100 Montreuil-sous-Bois ;*

*M. Prost, Directeur du Centre nau-
tique de l'Île-Bleue, 74600 Seynod ;*

*M. Renoux, Responsable technique
de la piscine des Sablons-au-Mans,
72000 Le Mans*

Extraction de chloramines par contact gaz/liquide dans les eaux de piscines

→ F. Gérardin, J.M. Gerber,
M. Héry, B. Quénis, Département
Ingénierie des Procédés, Centre de
recherche de l'INRS-Lorraine ;

avec la collaboration technique de
M. Galsomies, Directeur du Centre
nautique Maurice-Thorez,
93100 Montreuil-sous-Bois ;

M. Prost, Directeur du Centre nau-
tique de l'Île-Bleue, 74600 Seynod ;

M. Renoux, Responsable technique
de la piscine des Sablons-au-Mans,
72000 Le Mans

CHLORAMINES EXTRACTION BY GAS/LIQUID CONTACT IN SWIMMING POOL WATER

The chloramines, particularly nitrogen trichloride, formed in swimming pool halls, through contact between chlorine and the organic matter brought in by bathers, generate severe eye and respiratory irritations in swimming instructors. Some establishments have systems that facilitate extraction of nitrogen trichloride from the hall, substantially reducing atmospheric pollution in the workplace.

Three establishments of comparable size and activity, equipped with gas extraction systems (air stripping tower, modified buffer bath) were selected for a series of measurements to assess the efficiency of their nitrogen trichloride extraction systems. The findings reveal a genuine reduction in atmospheric trichloramine concentrations (up to 70%), effectively maintaining atmospheric values close to the tolerable level of 0.5 mg/m³ of NCl₃. This paper offers advice on the choice of technical solutions for improving the elimination of nitrogen trichloride from swimming pools.

● swimming pool ● chloramine
● extraction ● air ● measurement

Extraction de chloramines par contact gaz/liquide dans les eaux de piscines

La formation de chloramines, et plus particulièrement de trichlorure d'azote dans les halls de piscines, par contact du chlore sur la matière azotée apportée par les baigneurs, génère de fortes irritations oculaires et respiratoires chez les maîtres nageurs. Certains établissements disposent d'installations favorisant le dégazage du trichlorure d'azote en dehors des halls et permettent une réduction sensible de la pollution dans les atmosphères de travail. Trois établissements, de dimensions et d'activités voisines, équipés de ces systèmes de dégazage (tour de strippage, bac tampon modifié) ont été recensés. Ces piscines ont fait l'objet de campagnes de mesures afin d'évaluer l'efficacité de leurs systèmes d'extraction du trichlorure d'azote. Les résultats montrent une réelle diminution des teneurs atmosphériques en trichloramine (jusqu'à 70 %), ce qui permet de maintenir des teneurs dans les halls proches de la valeur de confort (0,5 mg/m³ de NCl₃). Cette étude donne des éléments d'appréciation pour le choix d'une solution technique facilitant l'élimination de la trichloramine des eaux de baignade.

● piscine ● chloramine ● extraction ● air ● mesure

Afin d'assurer aux personnes fréquentant les piscines (bassins d'apprentissage ou centres ludiques) une qualité de l'eau microbiologiquement satisfaisante, les exploitants de ces établissements sont contraints à employer des agents désinfectants. Les baigneurs apportent de la pollution organique dans les bassins sous forme de déchets divers (urine, sueur, peau, cosmétiques, etc.).

Seux [1] a étudié de manière précise la charge organique apportée, en déterminant les flux spécifiques de carbone organique total et de l'azote organique par équivalent-baigneur. Le chlore ainsi que ses dérivés (eau de Javel, hypochlorites divers) constituent les produits bactéricides les plus couramment utilisés dans ce secteur d'activité. Cependant, l'emploi de chlore génère au contact de la pollution azotée un ensemble de dérivés chlorés appelé génériquement « chlore combiné ». Malgré la complexité des réactions entre le

chlore et les divers polluants, il semblerait que la majorité des produits résiduels observés dans l'eau de baignade soient des chloramines (mono, di et trichloramines).

Les enquêtes réalisées dans ces établissements auprès des maîtres nageurs, montrent que les plaintes dues aux irritations oculaires et respiratoires sont d'autant plus nombreuses que la teneur en chlore combiné dans l'eau est élevée [1]. Le trichlorure d'azote (trichloramine), la forme de chloramine la plus volatile, a une tendance naturelle à dégazer dans l'atmosphère des piscines [2]. Ce produit étant très irritant, il a alors été suspecté d'être le principal responsable de ces nuisances.

En collaboration avec les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et la Fédération nationale des maîtres nageurs sauveteurs (FNMNS), l'INRS a développé dans un premier temps une méthode de dosage spécifique du trichlorure d'azote [3]. Cette méthode consiste à prélever l'at-

mosphère à travers un ensemble « tube-cassette ». Le tube de ce dispositif contient du gel de silice imprégné d'acide sulfamique destiné à piéger l'hypochlorite, la mono et la dichloramine. La cassette, composée de deux filtres de fibre de quartz imprégnés d'une solution de carbonate de sodium et de trioxyde de diarsenic, a pour fonction de piéger et de réduire la trichloramine en chlorure. Après prélèvement, le tube est désorbé dans une solution d'acide sulfamique et la concentration en espèces chlorées est déterminée par potentiométrie. Les filtres de la cassette sont également désorbés dans de l'eau et le dosage du trichlorure d'azote est effectué par chromatographie ionique avec détection conductimétrique.

L'INRS a également réalisé une étude visant à évaluer les conséquences d'une exposition du personnel à la trichloramine. Le pouvoir irritant du chlore et du trichlorure d'azote a été évalué chez la souris, en utilisant un test basé sur la diminution réflexe de la fréquence respiratoire lors d'une exposition à un agent irritant. Les résultats montrent que les pouvoirs irritants de ces deux composés sont du même ordre de grandeur [4, 5]. En parallèle, l'INRS a procédé à des campagnes de mesures dans les atmosphères de 13 piscines (7 établissements de type classique, 5 centres ludiques et un centre de rééducation). Les résultats de ces campagnes [6, 7] mettent en évidence l'influence de l'activité des établissements visités sur la pollution atmosphérique, notamment pour les centres ludiques qui présentent des teneurs en trichloramine élevées (température élevée, jeux d'eau). L'étude a également permis de proposer une valeur de « confort » pour laquelle les salariés ne ressentent aucune gêne respiratoire et oculaire.

En règle générale, quels que soient les établissements, il apparaît que les premières plaintes sont enregistrées pour des concentrations de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de trichlorure d'azote. Cette concentration est cohérente avec les résultats de l'étude menée sur la souris [4, 5].

Une étude épidémiologique, réalisée par N. Massin [8] 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 (oculaires, nasales, pharyngées et respiratoires). Elle a également permis de confirmer la valeur de confort précédemment citée ($0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de NCl_3).

Dans un second temps, l'INRS a axé ses activités vers l'étude de solutions visant à

réduire les émissions de trichloramine dans les halls de piscines. La démarche adoptée par l'INRS a été de recenser l'ensemble des établissements disposant de moyens techniques destinés à extraire les chloramines les plus volatiles de l'eau de baignade et d'y effectuer des campagnes de mesures chimiques (concentrations) et physiques (débits aérauliques et hydrauliques) en ciblant les interventions autour de ces installations d'épuration de l'eau afin d'évaluer leur rendement.

Les campagnes de mesures ont été réalisées dans les établissements suivants :

- **piscine municipale A**, où un dégazage par chute d'eau a lieu au niveau du bac tampon (bac destiné à absorber les variations de fréquentation des bassins) ;
- **piscine municipale B**, où une tour de strippage a été intégrée dans le circuit de recirculation de l'eau ;
- **piscine municipale C**, où un système de recirculation de l'eau interne au bac tampon à l'aide d'une pompe a été mis en place.

Ces centres nautiques ont des caractéristiques semblables (dimensions, nombre de bassins) intégrant des installations ludiques et proposant, outre l'accès libre au public, des activités de clubs et familiales. Les résultats de ces campagnes constituent des éléments d'appréciation pour les solutions à envisager dans les établissements où le traitement des chloramines est indispensable.

1. Description des installations

1.1. Etablissement A

Construite en 1968, la piscine A dispose d'un grand et petit bassin, ainsi que d'un toboggan. Cette piscine a la particularité de posséder un bac tampon (60 m^3), dont le rôle est d'absorber les variations de fréquentation des bassins et de faciliter (par chute d'eau à travers plusieurs centaines d'orifices) le dégazage du trichlorure d'azote contenu dans l'eau. Le bac tampon est alimenté uniquement par les eaux de surface (eaux des goulottes) par :

- une conduite alimentée par les eaux de goulottes du petit bassin ($\approx 60 \text{ m}^3/\text{h}$), ainsi que par une partie des eaux de goulottes du grand bassin ($\approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$) ;
- une conduite alimentée uniquement par l'autre partie des eaux de goulottes du grand bassin ($\approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$).

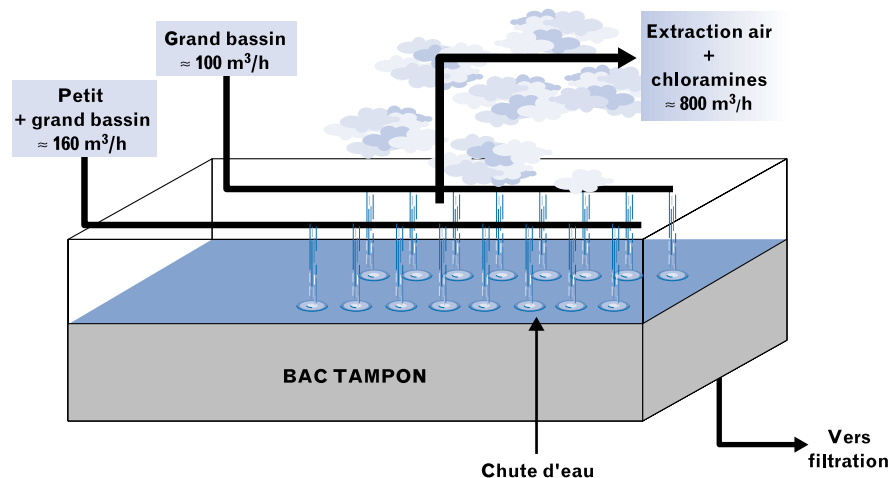
Le principe du fonctionnement de ce bac tampon est schématisé *figure 1*.

Le bac tampon est couvert par une bâche en polyester tissé, enduite PVC. Cette bâche a pour objectif de confiner les chloramines volatiles. Le bac est ventilé afin de rejeter à l'extérieur l'air chargé en chloramines. De plus, ce bac est équipé d'un « trop-plein » permettant l'évacuation des eaux lors d'une forte fréquentation des bassins.

1.2. Etablissement B

La piscine B, construite à la fin des années 60, est équipée d'un grand bassin (dimensions olympiques), d'un petit bassin, d'une pataugeoire et d'un bassin destiné aux activités ludiques (toboggan).

Fig. 1. Description du principe d'extraction des chloramines à la piscine A -
Chloramine extraction principle: swimming pool A



Cette piscine possède un bac tampon (35 m³), qui est alimenté par les eaux de surface de ces bassins et qui alimente le système de filtration, ainsi qu'une tour de strippage, dont le rôle est d'extraire une partie des chloramines contenue dans l'eau de recirculation (25 % de l'eau recirculée sont traités dans la tour). Le principe du fonctionnement de ce bac tampon est reproduit sur la *figure 2* et celui de la tour de strippage sur la *figure 3*.

Fig. 3. Principe d'extraction par strippage - Stripping extraction principle

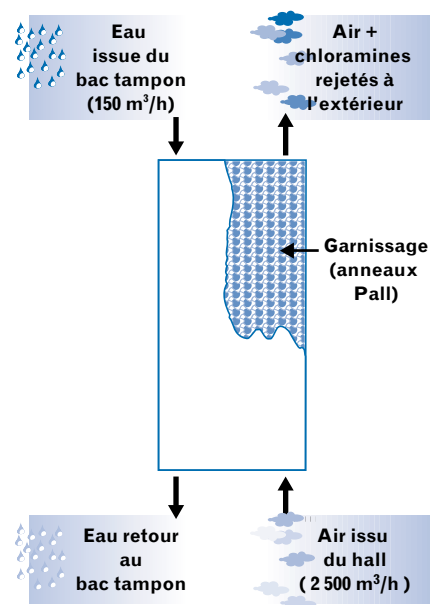
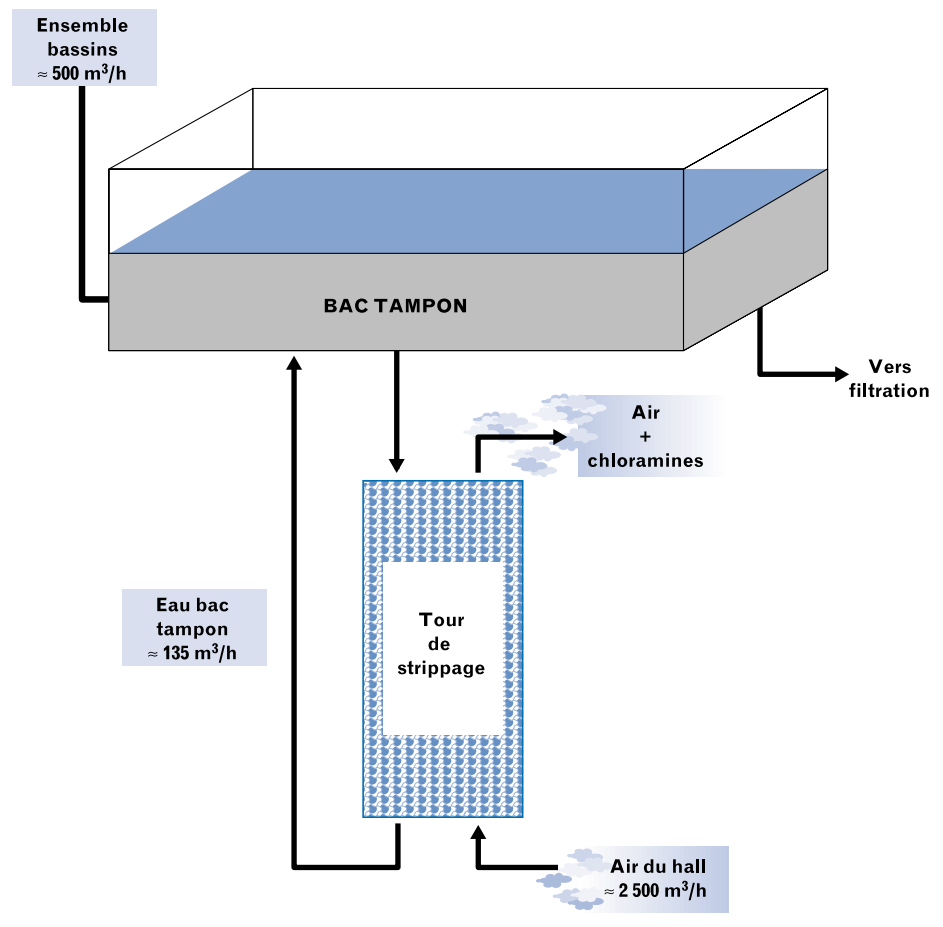


Fig. 2. Description du principe d'extraction des chloramines à la piscine B - Chloramine extraction principle: swimming pool B



1.3. Établissement C

La piscine C, construite dans les années 90, est composée d'un grand et d'un petit bassin (appelé bassin ludique), ainsi que d'une pataugeoire. Cet établissement dispose d'un bac tampon fermé maçonné, dont le volume total est d'environ 100 m³, dont 40 m³ utiles sont alimentés par les eaux de surface de ces bassins. Ce dispositif de régulation du niveau a été modifié afin de favoriser l'élimination de la trichloramine de l'eau. Le bac tampon a été équipé d'une pompe de recirculation (50 % des eaux de goulottes) fonctionnant en circuit fermé (≈ 300 m³/h), générant ainsi une agitation importante de l'eau de process. Cette installation est ventilée à l'aide de deux extracteurs rejetant l'air chargé en chloramines vers l'extérieur. L'eau, issue du bac tampon, alimente le système de filtration, puis est acheminée vers l'ensemble des bassins. Le principe du fonctionnement de ce bac tampon est schématisé *figure 4*.

Fig.4. Description du principe d'extraction des chloramines à la piscine C - Chloramine extraction principle: swimming pool C

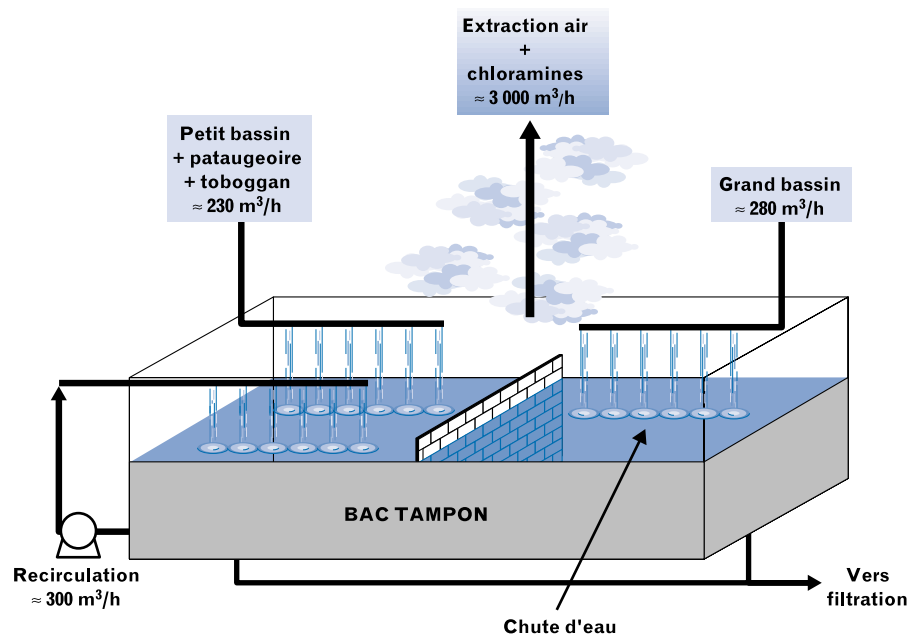
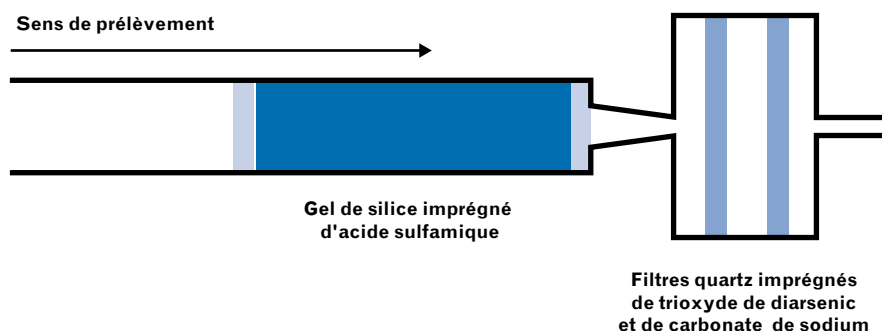


Fig.5. Dispositif de prélèvement utilisé pour les composés chlorés - Device used for the sampling of chlorinated compounds



2. Matériel et méthodes

L'objectif des campagnes de mesures dans ces établissements, était d'évaluer la quantité de trichloramine extraite par l'intermédiaire des installations précédemment décrites. Pour cela, des bilans matière ont été effectués pour chaque piscine sur le trichlorure d'azote, l'espèce de chloramine la plus volatile et la plus irritante. Il était indispensable de pouvoir évaluer les teneurs en composés chlorés, en particulier du trichlorure d'azote dans l'atmosphère et, dans une moindre mesure, dans les bassins. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître les débits liquides et gazeux relatifs aux différentes installations, afin de déterminer les flux mis en œuvre.

2.1. Composés chlorés en phase gazeuse

Les teneurs atmosphériques des composés chlorés ont été déterminées à l'aide des méthodes de prélèvement et d'analyse développées par l'INRS.

Le dispositif de prélèvement des composés chlorés est constitué de deux parties (fig. 5) :

- un tube de gel de silice (Macherey Nagel® 60, 18-35 mesh) imprégné d'acide sulfamique (Prolabo®) ;
- une cassette contenant deux filtres de fibre de quartz (Whatman® QM-A) imprégnés d'une solution de trioxyde de diarsenic (Riedel de Haen®) et de carbonate de sodium (RP Normapur®).

Le tube de gel de silice permet de collecter le chlore, l'acide hypochloreux, la monochloramine et la dichloramine, mais pas le trichlorure d'azote qui, lui, est échantillonné sur les filtres imprégnés.

En milieu fortement basique, le trioxyde de diarsenic réduit les différentes formes de chlore en chlorures. La cassette contenant les filtres imprégnés de carbonate de sodium et de trioxyde de diarsenic est placée en aval du tube de gel de silice.

Après échantillonnage à un débit de 1 l.min⁻¹, les tubes de gel de silice sont désorbés dans une solution d'acide sulfamique. Le prélèvement est analysé par potentiométrie à électrode spécifique chlore résiduel (Millivoltmètre Orion® 901, électrode Orion® 97-70) [9]. Les résultats sont exprimés en mg.m⁻³ équivalent chlore.

Les filtres en fibre de quartz sont désorbés dans l'eau bidistillée, le désorbat est percolé sur une résine échangeuse de cations sous forme H⁺ (Bio-Rad® 50w-x12,100-200 mesh). Il est ensuite analysé par chromatographie ionique sans suppression [8] :

- pompe Spectra-Physics® p100 réglée à 2 ml.min⁻¹ ;
- détecteur conductimétrique Metrohm 732 IC Detector ;
- logiciel d'intégration KromaSystem® 2000 de Kontron Instruments ;
- colonne PRP-X100, longueur 25 cm ;
- éluant : acide phtalique 1,5.10⁻³M ramené à pH = 4,4 avec LiOH, 5 % d'acétonitrile.

Les résultats sont exprimés en mg/m³ équivalent trichlorure d'azote.

Prélèvements

Deux types de prélèvements atmosphériques ont été effectués au cours de ces interventions :

- Évaluation de l'exposition ambiante dans le hall de la piscine : trois à cinq zones situées sur chaque site ont fait l'objet de prélèvements à poste fixe sur une durée de 2 heures (support : tube - cassette ; prélèvements effectués à l'aide

d'une pompe Gilian® HFS 113 dont le débit était d'environ 1 l.min⁻¹).

- Évaluation de la teneur en trichlorure d'azote de l'air extrait du bac tampon et tour de strippage (en sortie de la conduite d'extraction). Les prélèvements sont réalisés selon les mêmes méthodes que ceux effectués dans les halls.

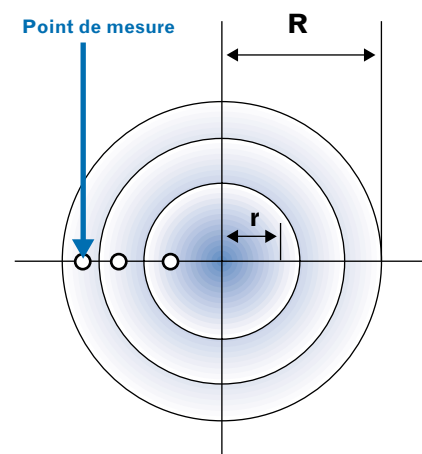
2.2. Composés chlorés en phase liquide

L'évaluation des concentrations en composés chlorés en solution n'est pas une priorité.

Ces valeurs ont un rôle informatif, le manque de précision des mesures ne permettant pas de les exploiter. Les mesures des différents composés chlorés reposent sur le principe décrit ci-dessous.

En milieu neutre, le chlore libre (HClO, ClO⁻) oxyde la *N,N*-diéthyl-paraphénylènediamine (DPD) en radical semiquinone de couleur rouge. D'autre part, l'addition d'un excès d'iodure de potassium permet de déterminer le chlore total (ensemble du chlore présent dans l'échantillon sous forme de chlore libre et sous forme de chloramines). La teneur en chlore combiné est obtenue par différence entre la teneur en chlore total et en chlore libre.

Fig.6. Localisation des points de mesures - Location of measuring points



Nombre de points de mesures par rayon	r/R
3	0,375
	0,725
	0,936

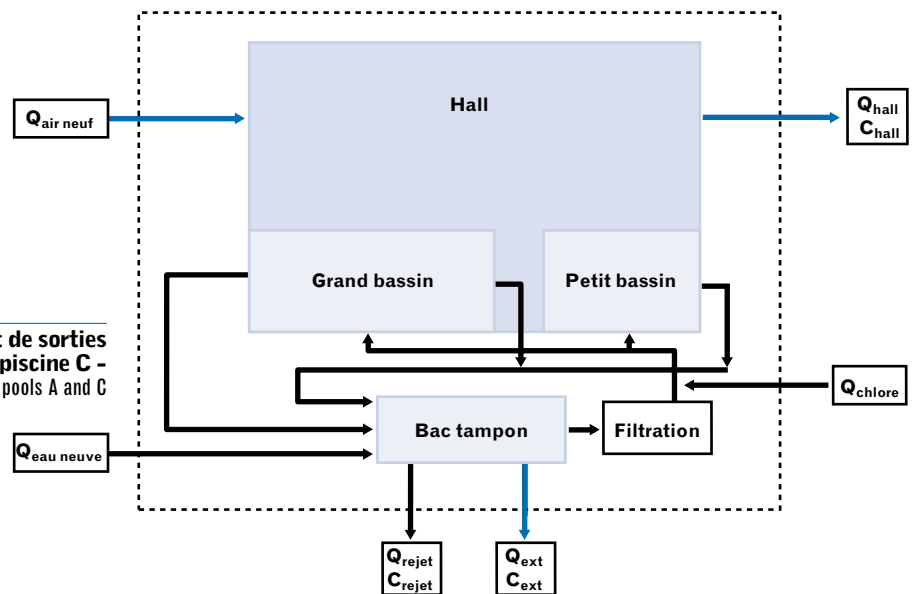
D'après Soulard et coll. [10], cette méthode permet le dosage du chlore total mais seulement une estimation du chlore libre. Bien que cette méthode ne donne que des résultats approximatifs, nous l'avons tout de même retenue dans le cadre de cette étude pour sa simplicité de mise en œuvre.

La détermination de la concentration en chlore total dans l'eau, par potentiométrie directe à électrode spécifique, a été également employée lors de la campagne de mesures à la piscine B et à la piscine C. Cette méthode s'avère plus fiable mais moins facile à mettre en œuvre que la méthode à la DPD.

Prélèvements

Afin d'évaluer la teneur en chlore total, libre et combiné dans les eaux de surface recirculées, les prélèvements ont été effectués en amont et en aval des installations destinées à extraire le trichlorure d'azote (bac tampon et tour de strippage), à la DPD ainsi qu'à l'électrode spécifique chlore pour les piscines B et C. Ces prélèvements ne seront pas directement exploités. Ils serviront à évaluer la teneur en chlore combiné en solution.

Fig. 7. Flux d'entrées et de sorties à la piscine A et à la piscine C -
Inward and outward flows: swimming pools A and C



Mesure du débit d'air de l'extraction [11]

La connaissance du débit d'air d'extraction au-dessus du bac tampon ou circulant dans la tour de strippage est fondamentale : elle permet d'évaluer le flux d'extraction de la trichloramine. La détermination du débit d'air est basée sur la mesure moyenne de circulation de l'air dans la conduite. Les mesures de vitesse ont été réalisées à l'aide d'un tube de Pitot et d'un manomètre différentiel. La détermination de la vitesse débitante a fait appel à la méthode arithmétique dite de « Log-Tchebycheff ». Le principe consiste à partager la section de mesure en un petit nombre d'éléments de section. Par hypothèse, la forme mathématique de la loi de répartition des vitesses, en fonction de la distance à la paroi, est logarithmique dans les éléments disposés à la périphérie de la section, et polynomiale dans les autres.

Dans le cas d'une section circulaire, la position des points de mesures correspond aux valeurs du rayon relatif r/R indiquées figure 6.

Fig. 8. Flux d'entrées et de sorties à la piscine B -
Inward and outward flows: swimming pool B

3. Résultats et commentaires

Les prélèvements effectués dans ces piscines nous permettent de réaliser des bilans matière et d'estimer le flux moyen de chloramines extraites de l'eau de piscine. Ces chloramines sont essentiellement du trichlorure d'azote (chloramine la plus volatile).

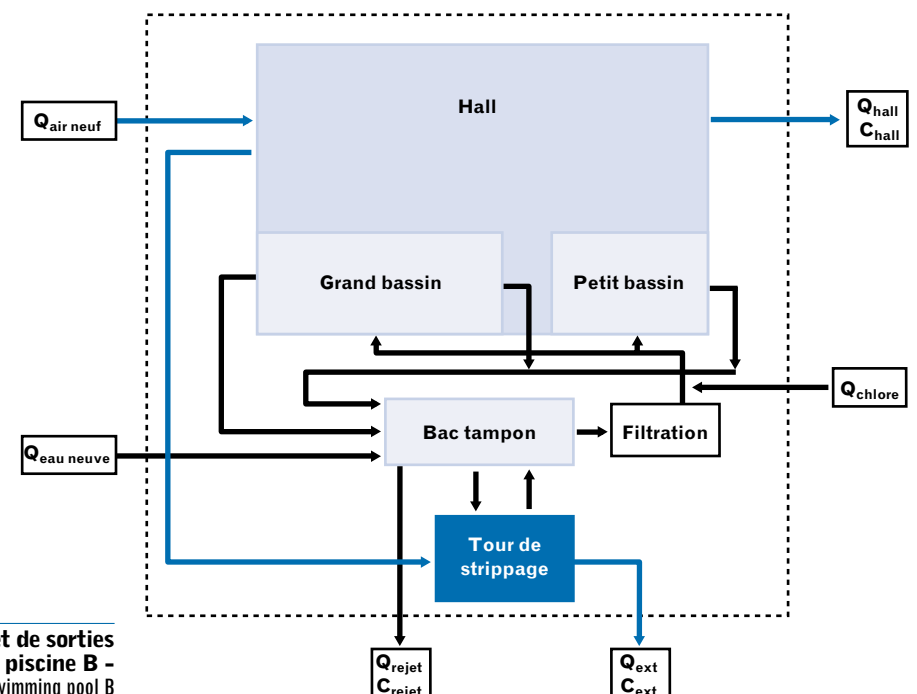
Dans un premier temps, il sera intéressant de pouvoir évaluer la réduction de la teneur en NCl_3 atmosphérique, engendrée par la mise en place des différentes installations destinées à réduire les émissions de chloramines dans les halls. Dans un second temps, nous comparerons l'effica-

cité de ces installations. Ces piscines ont des caractéristiques proches (nombre et volume des bassins, toboggan, et volume du hall semblables).

3.1. Quantité de chloramines extraites sur l'ensemble des piscines

Le bilan matière est réalisé sur la forme de chloramine la plus volatile : le trichlorure d'azote. Les autres formes de chloramines mesurées dans les phases gazeuses sont essentiellement issues d'aérosols.

Les flux d'entrée et de sortie des piscines A, B et C sont représentés respectivement figures 7 et 8.



Détermination du flux total de trichloramine extraite (cf. encadré 1)

Par hypothèse, on admettra que la concentration en trichloramine dans l'eau rejetée (renouvellement obligatoire) est négligeable pour les piscines A et C, en supposant les différents systèmes efficaces.

Les mesures de débit (eau, air) et de concentration (chloramines) effectuées dans les trois établissements donnent les paramètres de fonctionnement rassemblés dans le *tableau I*.

A partir de ces valeurs, il est possible d'évaluer le flux moyen de trichloramine total extrait sur une journée dans les établissements A et B. En revanche, les valeurs relevées dans la piscine C évoluent de manière significative au cours de la journée, imposant ainsi d'évaluer ce flux sur des périodes d'environ trois heures. Les valeurs de ces flux sont récapitulées dans le *tableau II* pour les piscines A et B et dans le *tableau III* pour l'établissement C.

3.2. Evaluation de l'abattement

L'abattement est considéré comme la réduction de la teneur en chloramines volatiles présentes dans le hall, éliminées par l'intermédiaire des différentes installations (bacs tampons, tour de strippage).

Pour déterminer cet abattement, il est nécessaire d'étudier plus précisément le transfert des chloramines de l'eau de baignade vers l'atmosphère des halls. Pour cela, nous exprimerons ce flux de matière selon l'expression générale suivante :

$$\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}} = K_g S (C^* - C_{\text{hall}}) = Q_{\text{hall}} \times C_{\text{hall}}$$

avec :

K_g : conductance globale ou coefficient de transfert [m/h] ;

S : surface d'échange (surface des bassins) [m²] ;

C^* : concentration [g/m³] de NCl₃, phase gaz, en équilibre avec la concentration (C_{aq}, [g/m³]) en NCl₃, phase aqueuse
 $\Rightarrow C^* = H \times C_{\text{aq}}$
(H = coefficient de partage).

Ce transfert s'effectue selon le schéma de la *figure 9*.

Nous pouvons ainsi en déduire, pour les trois piscines, un coefficient de transfert K_g , sachant que :

$$\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}} = K_g S (C^* - C_{\text{hall}}) = Q_{\text{hall}} \times C_{\text{hall}}$$

et que :

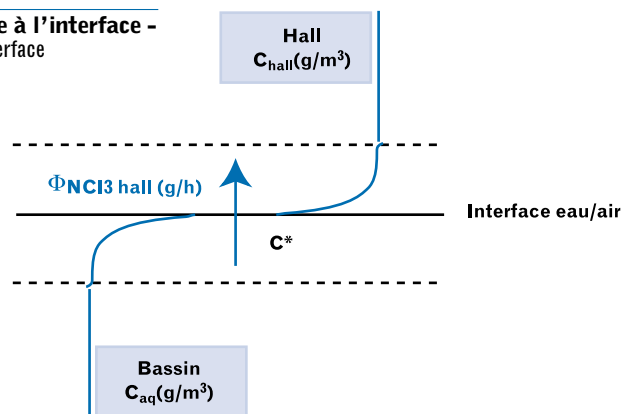
$$C_{\text{aq}} = \frac{\Phi_{\text{ext}}}{Q_{\text{recirc}}}$$

avec Q_{recirc} : débit d'eau alimentant le bac tampon ou la tour de strippage [m³/h].

La relation précédente est valable, en admettant que la totalité de la trichloramine contenue dans l'eau recirculée a été extraite.

En fonction des mesures effectuées dans chaque établissement, on aboutit donc au calcul des différents coefficients de transfert K_g (caractéristique essentielle du transfert des chloramines de la phase aqueuse vers la phase gaz), rassemblés dans le *tableau IV*.

Fig. 9. Transfert de matière à l'interface -
Transfer of matter at air/water interface



ENCADRÉ 1

Dans les 3 établissements, le flux de trichloramine extraite [g/h] est égal à :

$$\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}} = Q_{\text{ext}} \times C_{\text{ext}} + Q_{\text{hall}} \times C_{\text{hall}} + Q_{\text{rejet}} \times C_{\text{rejet}} = \Phi_{\text{NCl}_3\text{ext}} + \Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}} + \Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$$

et $\Phi_i = Q_i \times C_i$

avec

$\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}}$: flux total de trichloramine extraite sur l'établissement [g/h] ;

Q_{ext} : débit volumique de l'air issu du bac tampon ou tour de strippage [m³/h] ;

C_{ext} : concentration moyenne en trichloramine de l'extraction [g/m³] ;

Q_{hall} : débit volumique de l'air issu du hall [m³/h] ;

C_{hall} : concentration moyenne en chloramines de l'air du hall [g/m³] ;

Q_{rejet} : débit volumique de l'eau rejetée [m³/h] ;

C_{rejet} : concentration moyenne en trichloramine de l'eau rejetée au niveau du bac tampon [g/m³] ;

$\Phi_{\text{NCl}_3\text{ext}}$: flux de trichloramine extraite au niveau du bac tampon ou de la tour de strippage [g/h] ;

$\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}}$: flux de trichloramine transférée à l'interface vers le hall puis vers l'extérieur [g/h] ;

$\Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$: flux de trichloramine rejetée à l'égout [g/h].

TABLEAU I

PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT - OPERATING PARAMETERS

	Piscine A	Piscine B	Piscine C
Q_{ext} (m ³ /h)	785	2 500	7 000
C_{ext} (g/m ³)	2,3.10 ³	1,8.10 ⁻³	4,4.10 ⁻³
Q_{hall} (m ³ /h)	12 000	17 000	34 000
C_{hall} (g/m ³)	3.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3-7.10 ⁻⁴
Q_{rejet} (m ³ /h)	12	5	8
C_{rejet} (g/m ³)	négligeable	≈ 0,03	négligeable

TABLEAU II

RÉCAPITULATIF DES FLUX DE TRICHLORAMINE EXTRAITE PISCINES A ET B -
TOTAL FLOWS OF TRICHLORAMINE EXTRACTED: SWIMMING POOLS A AND B

PISCINE	FLUX MOYEN TRICHLORAMINE			
	Extraction $\Phi_{\text{NCl}_3\text{ext}}$ (g/h)	Halls $\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}}$ (g/h)	Rejeté $\Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$ (g/h)	Total extrait $\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}}$ (g/h)
A	1,8	3,6	négligeable	5,4
B	4,5	8,5	négligeable	13

TABLEAU III

RÉCAPITULATIF DES FLUX DE TRICHLORAMINE EXTRAITE PISCINE C -
TOTAL FLOWS OF TRICHLORAMINE EXTRACTED: SWIMMING POOL C

PISCINE DE SEYNOD	Période	FLUX MOYEN TRICHLORAMINE			
		Extraction $\Phi_{\text{NCl}_3\text{ext}}$ (g/h)	Halls $\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}}$ (g/h)	Rejeté $\Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$ (g/h)	Total extrait $\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}}$ (g/h)
1	12 h 00 - 15 h 00	34	12,6	négligeable	46,6
2	9 h 00 - 12 h 00	30,6	9,5	négligeable	40,1
2	13 h 30 - 15 h 30	30	14,6	négligeable	44,6
2	15 h 30 - 17 h 30	28,7	24,8	négligeable	53,5

J = journée.

TABLEAU IV

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU TRANSFERT DE MATIÈRE -
MAIN CHARACTERISTICS OF MATTER TRANSFER

	Piscine A	Piscine B	Piscine C (1)
$Q_{\text{recirc.}}$ (m ³ /h)	250	135	510
Surface d'échange S (m ²)	1 500	1 500	1 300
$\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}}$ (g/h)	3,6	8,5	9,5 - 24,8
C_{aq} (g/m ³)	7.10 ⁻³	3,4.10 ⁻²	5,6.10 ⁻² - 6,7.10 ⁻²
C^* (g/m ³) (H = 0,4 à 25 °C)	2,9.10 ⁻³	1,4.10 ⁻²	2,3.10 ⁻² - 7.10 ⁻²
C_{hall} (g/m ³)	3.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴ - 7.10 ⁻⁴
Coef.transfert Kg (m/h)	0,93	0,44	0,3 - 0,9

(1) Valeurs minimales et maximales mesurées sur 1 journée.

3.3. Détermination
de la concentration « potentielle »
en chloramines dans le hall

La concentration « potentielle » est la concentration en chloramines dans le hall de la piscine susceptible d'être atteinte, en supposant qu'il n'y ait pas d'installations destinées à éliminer la trichloramine. Ce raisonnement nous conduit à admettre l'hypothèse selon laquelle la quantité de trichloramine extraite par la tour ou le bac tampon aurait été partiellement dégazée dans le hall des piscines, si ces dispositifs d'épuration de l'eau n'avaient pas été installés.

A l'aide des relations suivantes, nous pouvons donc estimer la concentration potentielle dans chaque hall.

■ Flux total de trichloramine extraite [g/h] :

$$\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}} = Q_{\text{hall}} \times C_{\text{hall}} + Q_{\text{rejet}} \times C_{\text{rejet}}$$

■ Flux de trichloramine extraite dans le hall [g/h] :

$$\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}} = K_g S (C^* - C'_{\text{hall}}) = Q_{\text{hall}} \times C'_{\text{hall}}$$

avec C'_{hall} : concentration potentielle moyenne en chloramines de l'air du hall [g/m³] (en l'absence des dispositifs d'épuration).

On admet que la concentration en trichloramine de l'eau alimentant les bassins est égale à celle rejetée à l'égout, d'où : $C_{\text{aq}} = C_{\text{rejet}}$.

Les concentrations « potentielles » qui auraient été atteintes dans l'atmosphère sont rassemblées dans le *tableau V* (piscines A et B) et dans le *tableau VI* (piscine C). Le principal enseignement de cette étude est que les différents dispositifs installés dans les trois piscines étudiées permettent de diminuer de façon substantielle la pollution des halls des établissements. Mieux, les concentrations mesurées se situent toutes, à l'exception d'une valeur relevée en fin de journée dans la piscine C, en dessous de 0,5 mg/m³. Dans cet établissement, le niveau estimé compris entre 1,1 et 1,6 mg/m³ serait insupportable : la chute de l'eau dans le bac tampon et la boucle de recirculation permettent d'éliminer une part importante de la pollution par les chloramines, qui se seraient libérées dans l'atmosphère du hall.

Il est néanmoins difficile de comparer directement trois technologies différentes mises en œuvre dans des conditions également différentes, notamment au niveau de la concentration en chlore combiné. La campagne réalisée à la piscine A a eu lieu

quelques jours après une vidange totale des bassins, engendrant probablement un apport de matière azotée plus faible que dans les piscines B et C.

Les flux d'extraction sont très liés au niveau de pollution des bassins. En effet, la piscine C présente des teneurs en trichlorure d'azote, dans les bassins, 2 à 10 fois plus élevées que dans les deux autres piscines, induisant des flux d'extraction d'autant plus importants. On notera également que l'agitation très intense de l'eau recirculée dans la piscine C est un facteur favorable à un dégazage important du polluant.

On ne peut pas affirmer en particulier, malgré ce que semblent montrer les flux d'extraction assurés par les trois procédés, qu'un système est plus efficace qu'un autre. Néanmoins, dans les trois cas, on enregistre une réduction significative de la teneur en trichlorure d'azote (NCl₃) dans l'atmosphère des halls de piscines. Ce phénomène est confirmé par les exploitants de la piscine, pour lesquels un arrêt des installations destinées à dégazer la trichloramine,

se traduit immédiatement par une gêne oculaire et respiratoire plus importante.

L'ajout d'eau chlorée dans l'eau de process est un paramètre clé dans le traitement de la trichloramine. En effet, la chloration est réalisée dans les trois établissements visités après le bac tampon et avant le retour vers les bassins.

Cet ajout de chlore génère de manière très rapide, au contact de la matière azotée, du trichlorure d'azote, qui sera facilement dégazé dans les halls. Il serait intéressant de placer l'ajout de chlore en amont du bac tampon pour les piscines A et C et au niveau de la tour de strippage pour la piscine B.

Il convient par ailleurs de noter que seul un quart de l'eau recirculée étant traité dans la tour de strippage, la piscine B pourrait optimiser l'abattement des teneurs en trichloramine dans le hall en traitant la totalité de l'eau recirculée (eaux de goulottes).

TABLEAU V

**ÉVALUATION DE LA CONCENTRATION «POTENTIELLE» EN TRICHLORAMINE DANS LE HALL DES PISCINES A ET B -
ASSESSMENT OF «POTENTIAL» TRICHLORAMINE CONCENTRATION IN HALL OF SWIMMING POOLS A AND B**

Piscine	Flux chloramines hall $\Phi_{\text{NCl}_3\text{hall}}$ (g/h)	Flux chloramines eau rejetée $\Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$ (g/h)	Flux chloramines total extraites $\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}}$ (g/h)	Concentration actuelle du hall C_{hall} (mg/m ³)	Concentration «potentielle» du hall C'_{hall} (mg/m ³)
A	5,3	0,1	5,4	0,3	0,4
B	11,5	1,5	13	0,4	0,7

TABLEAU VI

**ÉVALUATION DE LA CONCENTRATION «POTENTIELLE» EN TRICHLORAMINE DANS LE HALL DE LA PISCINE C AU COURS DE LA JOURNÉE -
ASSESSMENT OF «POTENTIAL» TRICHLORAMINE CONCENTRATION IN HALL OF SWIMMING POOL C DURING DAY TIME**

Piscine C	Flux chloramines Hall Φ_{NCl_3} (g/h)	Flux chloramines Eau rejetée $\Phi_{\text{NCl}_3\text{rejet}}$ (g/h)	Flux chloramines Total extraites $\Phi_{\text{NCl}_3\text{total}}$ (g/h)	Concentration actuelle du hall C_{hall} (mg/m ³)	Concentration «potentielle» du hall C'_{hall} (mg/m ³)
J Période					
1 12 h 00 - 15 h 00	51,7	2,5	54,2	0,4	1,5
2 9 h 00 - 12 h 00	43,9	2,4	46,3	0,3	1,3
2 13 h 30 - 15 h 30	50,3	2	52,3	0,4	1,5
2 15 h 30 - 17 h 30	57,5	1,3	58,8	0,7	1,7

J = journée.

Malgré des quantités de NCl_3 qui peuvent paraître modestes (quelques grammes/h), les trois installations s'avèrent efficaces, notamment dans la piscine C, où les teneurs atmosphériques en NCl_3 du hall peuvent être réduites de 70 %. Ces techniques pourraient être adaptées aux établissements, où l'élimination des chloramines est indispensable.

Cependant, la tour de strippage est un procédé qui peut être dimensionné plus aisément que les deux autres systèmes. En effet, les paramètres hydrodynamiques et de transfert de matière régissant l'extraction d'un polluant au sein d'une tour de strippage sont bien connus et permettent de déterminer simplement les caractéristiques principales d'une telle installation (diamètre, hauteur de garnissage, etc.).

Néanmoins, l'aspect économique est un critère essentiel sur le choix d'une installation. Les systèmes par « chutes d'eaux » sont des adaptations modestes des bacs tampons existants et engendrent des investissements très réduits (quelques dizaines de milliers de francs), contrairement à la tour où les coûts peuvent être multipliés par 10.

Conclusion

Cette étude montre que des solutions simples peuvent améliorer de manière sensible les conditions de travail du personnel de surveillance des bassins. Compte tenu du caractère empirique des expérimentations réalisées jusqu'à présent, il n'est pas possible de privilégier l'une des techniques.

Il est donc souhaitable de poursuivre l'évaluation de ces solutions technologiques par une étude plus approfondie des contacteurs gaz/ liquide dans le cadre de l'élimination des chloramines.

L'objectif à terme serait la rédaction d'un guide technique généralisant les dimensionnements des installations (bacs tampons, chutes d'eaux, etc.), afin d'adapter ces solutions aux établissements existants et à venir.

Les auteurs remercient G. Hecht pour sa contribution aux analyses des prélèvements effectués au cours de ces campagnes de mesures.

BIBLIOGRAPHIE

1. SEUX R. - Evolution de la pollution apportée par les baigneurs dans les eaux de piscines sous l'action du chlore. *Journal Français d'Hydrologie*, 1988, 19, pp. 151-168.
2. HOLZWARTZ G., BALMER R.G., SONY L. - The rate of chlorine and chloramines in cooling towers. *Henry's law constants for flashoff*. *Water Research*, 1984, 18, pp. 1421-1427.
3. HERY M., GERBER J.M., HECHT G., SUBRA I., POSSOZ C., AUBERT S., DIEUDONNE M., ANDRE J.C. - Exposure to chloramines in a green salad processing plant. *Annals of Occupational Hygiene*, 1998, 42, pp. 437-451.
4. GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P., HECHT G., HERY M. - Comparison of the sensory Irritation Response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. *Journal of Applied Toxicology*, 1994, 14, pp. 405-409.
5. GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P., HECHT G., HERY M. - Pouvoir irritant du chlore et du trichlorure d'azote chez la souris. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1994, 156, pp. 293-295.
6. HERY 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*, 1995, 39, pp. 427-439.
7. HERY M., HECHT G., GERBER J.M., GENDRE J.C., HUBERT G., BLACHERE V., REBUFFAUD J., DOROTTE M. - Exposition aux chloramines dans les atmosphères des halls de piscine. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1994, 156, pp. 285-292.
8. MASSIN N., BOHADANA A.B., WILD P., HERY 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*, 1998, 55, pp. 258-263.
9. Chlorine in Workplace Atmospheres. *Cincinnati, OSHA, Analytical Methods Manual*, 1987, méthode ID-101.
10. SOULARD M., BLOC F., HATTERER A. - Diagram of existence of chloramines and bromamines in aqueous solution. *Dalton JCS*, 1980, pp. 2300-2310.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part de *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 4^e trimestre 1999, n° 177 - ND 2117 - 1200 ex.
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0840-3