

Maîtres nageurs sauveteurs exposés au trichlorure d'azote dans les piscines couvertes : Symptômes respiratoires et réactivité bronchique

Depuis plusieurs années, les établissements aquatiques (piscines, centres nautiques, et centres de loisirs) rencontrent des problèmes de pollution de leurs halls par des composés chlorés très irritants : les trichloramines. Ces espèces sont générées par la combinaison du chlore, utilisé comme bactéricide dans les eaux de baignade et la pollution azotée apportée par les baigneurs (sueur, urine, peau, cosmétique, etc.).

Les réactions entre le chlore et ces produits conduisent à la formation de chloramines (mono, di ou tri) dont la dernière (la forme la plus halogénée), le trichlorure d'azote NCl_3 , est la plus volatile et a tendance à se dégager dans les halls de piscine.

L'INRS a mené un travail de fond autour de ce polluant :

- une méthode de dosage spécifique au trichlorure d'azote a été développée par l'Institut ;
- 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 de confort ($0,5 \text{ mg/m}^3$) pour laquelle les salariés ne ressentent aucune gêne ;

- une étude ayant pour objectif de comparer les performances de quatre contacteurs gaz/liquide, des systèmes adaptés sur des bacs tampons d'établissements nautiques permettant d'extraire par strippage les trichloramines.

Celle-ci fait l'objet d'un article publié dans les Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail n° 184, du 3^e trimestre 2001 (lire encadré I) ;

- cette étude épidémiologique réalisée auprès du personnel de surveillance de baignade de 63 établissements montrant un lien significatif entre le niveau d'exposition au trichlorure d'azote et l'intensité des irritations ressenties ⁽¹⁾, publiée ici dans son intégralité suite aux nombreuses questions posées sur le risque d'exposition au trichlorure d'azote.

Dans le monde entier, des millions de gens prennent plaisir à nager régulièrement en piscine.

En général, les personnes qui fréquentent les piscines encourent le risque de contracter des maladies dermatologiques dues à l'exposition à des micro-organismes (par exemple, *Mycobacterium balnei*, *Molluscum contagiosum*) retrouvés dans l'eau des piscines ou sur leurs bords [1].

De plus, ceux qui fréquentent des piscines couvertes risquent d'inhaler des aérosols de micro-organismes (par exemple, *Legionella pneumophila*) et/ou des substances chimiques dégagées par la réaction entre les agents désinfectants ajoutés à l'eau de la piscine et les matières organiques d'origine humaine [1].

En 1993, en France, les services de prévention des maladies professionnelles ont fait état de taux anormalement élevés de symptômes d'irritation pour les yeux et l'appareil respiratoire chez les Maîtres nageurs sau-

veteurs (MNS) employés dans diverses piscines couvertes, désinfectées par le chlore. A la suite de cette observation, une surveillance de l'exposition, effectuée par des chimistes de l'INRS, a démontré que, parmi les irritants possibles présents dans l'air des piscines, seules les chloramines étaient détectées en quantité non négligeable. De plus, le trichlorure d'azote (NCl_3) apparaît comme la principale chloramine présente [2]. Cette étude relative à l'exposition a montré que les niveaux de NCl_3 étaient bien plus élevés dans les centres de loisirs aquatiques (piscines ludiques) que dans les piscines classiques. En outre, les plaintes spontanées de type irritatif semblaient être en relation avec les niveaux d'exposition mesurée. Par conséquent, la Fédération nationale des maîtres nageurs sauveteurs (FNMNS) a demandé à l'INRS d'effectuer des recherches sur la relation possible entre le niveau de NCl_3 et la prévalence de ces symptômes.

L'étude actuelle a été réalisée pour déterminer la fréquence des symptômes respiratoires et oculaires chez les MNS qui travaillent dans des piscines cou-

N. MASSIN*,
B. BOHADANA**,
P. WILD*, M. HERY***,
J.P. TOAMAIN**,
G. HUBERT***.

* Département Épidémiologie, INRS, Centre de Lorraine.

** INSERM, Unité 420, Epidémiologie Santé Travail.

*** Département Evaluation et prévention du risque chimique, INRS, Centre de Lorraine.

INRS

Documents pour le médecin du travail
N° 86
2^e trimestre 2001

183

(1) Traduction de l'article « Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools », paru dans la revue Occupational and Environmental Medicine, 1998, 55, pp. 258-263, reproduit ici avec l'aimable autorisation de BMJ Publishing group. Des résultats partiels ont été publiés dans Travail et Sécurité, mai 1998, n° 572, pp. 35-39.

STRIPPAGE DE LA TRICHLORAMINE : UNE ÉTUDE SUR LES DIFFÉRENTS CONTACTEURS GAZ/LIQUIDE

La trichloramine, polluant de l'eau très volatile, est facilement extractible par strippage (mise en contact du liquide avec un gaz). Certains exploitants et concepteurs de piscines ont donc choisi d'utiliser cette propriété pour traiter une partie de leurs eaux de bassins par aération au niveau des bacs tampons qui recueillent les trop pleins des bassins. Ce sont certains de ces systèmes d'aération des eaux qui ont fait l'objet de l'étude menée par la cellule procédé de l'INRS. Il s'agissait de réaliser une évaluation des performances des systèmes d'extraction de chloramines par contact gaz/liquide dans les eaux de piscines existantes de trois établissements

Cette étude, réalisée dans le cadre d'une convention avec le laboratoire de Génie Chimique de l'école CPE Lyon, a confirmé les bons résultats d'extraction enregistrés sur le terrain (les diminutions des concentrations atmosphériques en trichlorure d'azote pouvaient être supérieures à 60 %) et a permis de déterminer les paramètres dimensionnant pour chaque système. Pour cette étude, un pilotage en produit sur deux maquettes a été utilisé, ce qui a permis de faire varier plusieurs paramètres. Dans le dernier chapitre de cette note, on trouvera un exemple de dimensionnement de ces quatre systèmes pour un bac tampon type (avec des dimensions, des débits liquide et gazeux et une pollution moyens).

Il est rappelé en conclusion que la purification de trichloramines dans l'eau peut être réalisée par d'autres voies que le strippage. Il existe notamment des méthodes mettant en œuvre des charbons actifs et des ultraviolets, ces dernières ne font pas appel à la notion d'équilibre thermodynamique entre une phase liquide et une phase gazeuse. Ainsi, elles permettent d'atteindre des concentrations très faibles en trichloramines dans l'eau, beaucoup plus faibles que celles atteintes par simple strippage. Ces techniques ont des spécificités et des coûts qui seront développés dans une prochaine note documentaire.

F. GÉRARDIN, N. MULLER-RODRIGUEZ, B. QUENIS, « Strippage de la trichloramine dans les bacs tampons des piscines – études de différents contacteurs gaz-liquide », *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 3^e trimestre 2001, **184**, 12 p.

vertes et rechercher s'il existe une relation entre ces symptômes et les concentrations de NCl_3 mesurées dans l'atmosphère des piscines. De plus, il a été essayé de mieux comprendre la relation entre ces variables et la réactivité bronchique à la métacholine.

Le taux global de participation à cette étude a été de 97 %. En général, aucune différence importante n'existait dans les conditions de travail des MNS des deux types de piscines.

Tous les sujets ont donné leur consentement de participation à l'étude par écrit, en pleine connaissance de cause. Des informations ont été obtenues sur l'âge, les heures de travail quotidien, la durée de travail et la carrière professionnelle. Les MNS qui avaient déjà été exposés à des substances entraînant un risque respiratoire connu ont été exclus de cette étude. Les caractéristiques des 334 MNS sont indiquées dans le *Tableau I*.

Matériel et méthode

SUJETS ET MÉTHODES

Cette étude est une étude transversale de morbidité concernant 334 MNS travaillant dans 46 piscines classiques (n=228) et 17 piscines ludiques (n=106). Afin d'augmenter l'étendue de l'exposition et par conséquent la puissance de l'étude, les premières piscines choisies ont été les piscines ludiques. Secondairement, toutes les piscines classiques du voisinage de chaque piscine sélectionnée ont été incluses dans l'étude, évitant ainsi tout biais dû à la situation géographique. Afin de maximiser également la probabilité de trouver une exposition élevée au trichlorure d'azote, cette étude a été effectuée en hiver, lorsque les fenêtres des piscines et/ou les toits sont généralement fermés.

MESURE DE L'EXPOSITION

Les concentrations actuelles de chloramines de l'atmosphère des piscines ont été mesurées au cours de périodes de 3 à 4 heures, à l'aide de prélèvements d'ambiance. La méthode utilisée a été décrite en détail par ailleurs [2]. En résumé, l'air ambiant est aspiré à travers un papier filtre en fibres de verre (GF/C Whatmann, d'un diamètre de 37 mm), imprégné d'une solution de carbonate de sodium et de trioxide de diarsenic, à l'aide de petites pompes à vide (Dupont S-2500, Kennett Square, PA, USA), dont le débit est maintenu à $1,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Ensuite, après désorption du

Caractéristiques anthropométriques, habitudes tabagiques, et durée d'exposition des MNS (n=334) travaillant dans des piscines classiques et des piscines ludiques (Moyenne (SD)).

Paramètres	Hommes	Femmes
n	256	78
Age (années)	36 (9)	32 (7)
Taille (cm)	176 (7)	166 (6)
Poids (kg)	76 (10)	61 (7)
Habitudes tabagiques		
Fumeurs n (%)	97 (38)	23 (29)
Anciens fumeurs n (%)	43 (17)	13 (17)
Non-fumeurs n (%)	116 (45)	42 (54)
Consommation de tabac		
Fumeurs (paquets - années)	11 (9)	11 (8)
Ancien fumeurs (paquets - années)	12 (12)	2 (3)
Exposition (années)	11 (8)	8 (7)

« Avez-vous constaté une augmentation de l'importance de votre toux et du volume de votre expectoration pendant au moins trois semaines, au cours des trois dernières années » ?

Dyspnée à l'effort - La dyspnée à l'effort correspond à une difficulté à respirer lors de la montée d'une légère côte.

Asthme de l'adulte - L'asthme de l'adulte est défini comme l'asthme diagnostiqué par un médecin, à l'âge de 16 ans ou plus.

La seconde partie du questionnaire se rapporte aux symptômes d'irritation que les MNS attribuent directement à leur travail. Les symptômes irritatifs sont considérés comme existants si le sujet répond par l'affirmative à la (aux) question(s) « Ne vous êtes-vous jamais plaint, pendant le travail, d'avoir les yeux rouges, qui piquent ou qui sont larmoyants ? », « Ne vous êtes-vous jamais plaint, pendant le travail, d'avoir le nez qui coule ? » ; « Ne vous êtes-vous jamais plaint, pendant le travail, d'avoir mal à la gorge ? » ; et, « Ne vous êtes-vous jamais plaint, au travail, de toux sèche (irritatifs) ? ». Une réponse positive aux questions ci-dessus devait être suivie par une réponse positive à la question : « Est-ce que ces plaintes disparaissent après avoir quitté le travail (le soir, les week-ends, pendant les vacances) ? »

Les non fumeurs sont les sujets qui n'ont jamais fumé régulièrement une ou plusieurs cigarettes par jour ou qui ont fumé une ou plusieurs cigarettes par jour pendant moins d'un an. Les fumeurs sont les sujets qui ont fumé une ou plusieurs cigarettes par jour, pendant au moins un an. Les anciens fumeurs sont des sujets qui ont fumé une ou plusieurs cigarettes, régulièrement par le passé, mais qui ont arrêté de fumer au moins un an avant cette étude.

filtre dans 10 ml d'eau bidistillée, la solution est passée sur une résine échangeuse de cations, afin d'éliminer le carbonate, substance qui interfère dans l'analyse du chlorure. Enfin, la teneur en chloramines de la solution a été mesurée par chromatographie liquide. Par cette méthode, le trichlorure d'azote atteint environ 90 % des chloramines mesurées, les 10 % restants étant représentés par des mono et dichloramines, ainsi que par des formes oxydantes de chlorure. [2].

Etant donné le caractère statique du travail des MNS, aucun prélèvement individuel n'a été effectué. Au contraire, des prélèvements d'ambiance ont été pratiqués à divers endroits autour de la piscine, là où les MNS se tiennent habituellement pendant leur poste de travail. Pour chaque piscine, la concentration en NCl_3 a été calculée en faisant la moyenne de toutes les mesures obtenues à ces différents points. Cette valeur moyenne a été attribuée individuellement à tous les MNS de la piscine en question, pour donner l'indice d'exposition mesurée. De plus, pour chaque MNS, un indice d'exposition cumulée a été obtenu. Il correspond à la somme du niveau mesuré dans la piscine actuelle multiplié par la durée passée dans cette piscine et des différents niveaux estimés dans les piscines précédentes (classées en classiques ou ludiques) multipliés par la durée passée dans chaque piscine précédente.

RECUEIL DES DONNÉES

Passé médical

Le passé détaillé des maladies respiratoires et des habitudes tabagiques a été consigné à l'aide d'un questionnaire standardisé en deux parties. La première partie est une version modifiée du questionnaire de la Communauté Européenne pour le Charbon et l'Acier (CECA) sur les symptômes respiratoires [3], qui a été rempli par un médecin expérimenté. Le questionnaire insiste sur les problèmes actuels et les antécédents familiaux et personnels (toux, expectoration, asthme, respiration sifflante et dyspnée).

Bronchite chronique - La bronchite chronique a été définie par la présence de toux et d'expectoration, pendant au moins 3 mois par an et depuis au moins deux années consécutives.

Toux et/ou expectoration chronique - Le terme de toux et/ou expectoration chronique est utilisé pour les sujets qui toussent et qui crachent de façon chronique sans indication de durée : ainsi, cela comprend à la fois les sujets remplissant les critères de bronchite chronique et ceux ne les remplissant pas.

Bronchite - Le terme de bronchite se rapporte aux sujets qui répondant par l'affirmative à la question :

Tests de la fonction pulmonaire

La spirométrie a été effectuée par le même technicien expérimenté, à l'aide d'un spiromètre électronique (Spiro-Analyseur ST 300, Fukuda Sangyo Co. Tokyo, Japon). Les indices suivants ont été obtenus en faisant expirer le sujet de toutes ses forces et au maximum, après une manœuvre d'inspiration forcée : Capacité Vitale Forcée (CVF), Volume Expiratoire Maximum en une seconde (VEMS) et débits instantanés à divers volumes. Au départ, chaque sujet a effectué au moins trois manœuvres expiratoires forcées reproductibles (variation de moins de 5 % pour la CVF et le VEMS) ; ensuite, uniquement deux courbes reproductibles étaient demandées. La courbe présentant la somme de CVF + VEMS la plus élevée est utilisée pour l'analyse statistique. Les résultats sont exprimés sous forme de la différence entre les valeurs observées et celles prédites par la Société Respiratoire Européenne [4].

Réactivité bronchique

Parce que les examens ont été pratiqués sur le lieu de travail, une version abrégée du test d'hyperréactivité bronchique à la méthacholine (HRB) a été utilisée [5]. Cette technique a été décrite précédemment [6, 7]. Trois doses cumulées de méthacholine (0,5 μmol , 2,5 μmol and 7,5 μmol - c'est-à-dire, respectivement : 100 μg , 500 μg et 1 500 μg) ont été administrées avec un appareil (Mediprom FDC 88 - Paris, France) délivrant des doses de 0,5 μmol de méthacholine par inspiration. Le système est équipé d'un nébuliseur De Vilbiss 5610 D, délivrant des particules de 3 μm de diamètre. Le sujet porte un pince-nez et l'aérosol est inhalé lentement par la bouche, puis le sujet retient son souffle pendant 5 secondes. La spirométrie est effectuée en position assise, avant et trois minutes après les inhalations de méthacholine. Le test de l'épreuve est arrêté soit après l'inhalation de la troisième dose de méthacholine, soit si le VEMS chute de 20 % ou plus par rapport à la valeur de base.

Les sujets dont le VEMS chute de 20% ou plus sont classés comme ayant un test positif (HRB +). Comme le nombre de sujets HRB + est forcément limité, un indice supplémentaire de réactivité est utilisé, à savoir la pente dose-réponse (PDR) linéaire entre deux points, telle qu'elle a été proposée par O'Connor et coll. [8]. La PDR est calculée comme le ratio de la chute du pourcentage du VEMS à la dernière dose et de la dose totale de méthacholine (μmol) administrée.

ETHIQUE

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique médical local.

ANALYSE STATISTIQUE

Pour appliquer une analyse multivariée à la pente dose-réponse (PDR), celle-ci a subi une transformation normalisante. Il s'agit de la transformation $1/(\% \text{ de chute du VEMS}/\mu\text{mol} + 2,5)$ de la famille des transformations logarithmiques décalées et des transformations inverses décalées, qui a été reconnue comme étant optimale pour une large population de sujets non exposés [6].

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SAS® [9]. Des analyses de régression logistique multiples sont utilisées pour évaluer l'effet de l'exposition sur les symptômes après ajustement sur le tabagisme (pour tous les symptômes) et sur l'âge (pour la dyspnée). La régression linéaire multiple est utilisée pour décrire l'effet de l'exposition sur les paramètres spirométriques de base (après ajustement sur le tabagisme) et sur la PDR transformée (après ajustement sur le VEMS de base du VEMS et sur l'âge). Le tabagisme n'a pas été inclus dans ce modèle car cette variable n'a pas été trouvée corrélée à la réactivité bronchique. La stabilité de la variance et les linéarités approximatives des modèles linéaires ont été vérifiés sur des tracés résiduels.

Résultats

EVALUATION DE L'EXPOSITION

Au total, 1 262 échantillonnages ont été réalisés dans les 63 piscines. Dans les piscines classiques, ($n = 46$) la concentration moyenne (SD) de NCl_3 sur 860 mesures est de 0,24 (0,17) mg/m^3 . Dans les piscines ludiques ($n = 17$), la concentration moyenne (SD) sur 402 mesures est de 0,67 (0,37) mg/m^3 . Deux piscines classiques ont des taux supérieurs à 0,60 mg/m^3 et deux piscines ludiques ont des taux de l'ordre de 0,14 mg/m^3 . Ainsi, l'objectif qui visait à réaliser une large gamme d'exposition en associant piscines ludiques et piscines classiques a été atteint, à quelques exceptions près. Toutefois, puisque le but de cette étude est de rechercher une relation entre prévalence des symptômes et niveaux d'exposition au NCl_3 , qui ont été mesurés dans chaque piscine, la distinction entre piscine publique et piscine ludique n'était plus pertinente.

Prévalence (%) de symptômes respiratoires chroniques chez 334 maîtres nageurs sauveteurs répartis selon leur exposition au trichlorure d'azote, exprimée en termes d'indice d'exposition cumulée

TABLEAU II

Symptômes	Groupe A n = 83	Groupe B n = 84	Groupe C n = 84	Groupe D n = 83	p*
Bronchite chronique (n (%))	0	5 (5,9)	1 (1,2)	0	a**
Toux et/ou expectoration chronique (n (%))	7 (8,5)	2 (2,4)	14 (16,7)	5 (6)	0,87
Épisodes de bronchite (n (%))	6 (7,2)	9 (10,7)	10 (11,9)	5 (6,1)	0,86
Dyspnée (n (%))	5 (6,1)	1 (1,2)	1 (1,2)	3 (3,6)	0,87
Asthme (n (%))	4 (5,2)	1 (1,2)	0	3 (3,6)	0,37

* régression logistique a** nombre insuffisant de sujets pour l'analyse statistique.

Définition des groupes : • **Groupe A** : concentration en trichlorure d'azote < 0,58 ans.mg/m³ • **Groupe B** : concentration en trichlorure d'azote entre 0,58 et 1,6 ans.mg/m³ • **Groupe C** : concentration en trichlorure d'azote entre 1,6 et 3,12 ans.mg/m³ • **Groupe D** : concentration en trichlorure d'azote > 3,12 ans.mg/m³.

Par conséquent, 4 classes d'exposition ont été créées, et leurs limites sont définies par la valeur qui permet de répartir les sujets en 4 groupes de taille à peu près équivalente. Ceci a été réalisé pour chaque indice d'exposition, de la manière suivante :

a) L'indice d'exposition mesurée : il s'agit de la concentration moyenne de NCl₃ réellement mesurée dans chaque piscine, exprimée en mg/m³. Les niveaux d'exposition suivants ont été retenus pour chaque groupe :

- **Groupe 1** : concentration en NCl₃ < 0,14 mg/m³;
- **Groupe 2** : concentration en NCl₃ entre 0,14 mg/m³ et 0,22 mg/m³,
- **Groupe 3** : concentration en NCl₃ entre 0,22 mg/m³ et 0,50 mg/m³,
- **Groupe 4** : concentration en NCl₃ > à 0,50 mg/m³.

b) L'indice d'exposition cumulée a été calculé pour chaque MNS en multipliant la concentration moyenne de NCl₃ mesurée dans la piscine, par le nombre d'années de travail (année.mg/m³). Pour les sujets qui ont travaillé auparavant dans d'autres piscines, l'exposition précédente estimée a été multipliée par le nombre d'années passées dans ces piscines et le résultat a été ajouté au premier calcul. Pour cet indice, exprimé en ans.mg/m³, les limites d'exposition au NCl₃, définissant les 4 groupes, sont les suivantes :

- **Groupe A** : concentration en NCl₃ < 0,58 ans.mg/m³ ;
- **Groupe B** : concentration en NCl₃ entre 0,58 et 1,6 ans.mg/m³ ;
- **Groupe C** : concentration en NCl₃ entre 1,6 et 3,12 ans.mg/m³ ;
- **Groupe D** : concentration en NCl₃ > 3,12 ans.mg/m³.

SYMPTÔMES D'IRRITATION ET RESPIRATOIRES

Dans l'ensemble, la prévalence des symptômes respiratoires chroniques en fonction de l'exposition cumulée est plutôt basse, allant de 0 % pour la bronchite chronique (Groupes A et D) et l'asthme (Groupe C), à 14 % pour la toux chronique ou l'expectoration (Groupe C) (Tableau II). Inversement, la prévalence des symptômes d'irritation est plutôt élevée, quel que soit l'indice d'exposition. En ce qui concerne l'indice d'exposition mesurée, le taux observé va de 9,3 % pour l'irritation trachéo-bronchique du Groupe 1, à 85,7 %, pour l'irritation des yeux dans le Groupe 4 (Tableau III, partie supérieure). Des résultats semblables sont observés pour l'indice d'exposition cumulée (Tableau III, partie inférieure).

Plus important, les taux de prévalence tendent à croître avec l'augmentation de l'exposition : pour l'indice d'exposition mesurée, une relation dose-réponse statistiquement significative 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 et, dans une moindre mesure, pour les symptômes d'irritation nasale (Tableau III).

FONCTION PULMONAIRE DE BASE

Les variables de la fonction pulmonaire des diverses classes d'exposition cumulée sont indiquées séparément pour les MNS hommes et femmes dans le Tableau IV. Dans l'ensemble, les valeurs mesurées dépassent les valeurs prévues, pour tous les paramètres, chez les hommes et chez les femmes. Pour la CVF, le dépassement observé va de 0,5 à 0,7 l dans les deux groupes (Tableau IV). En revanche, chez les

TABLEAU III

Prévalence des symptômes d'irritation chez 334 maîtres nageurs sauveteurs répartis en fonction de leur exposition au trichlorure d'azote, exprimée en termes d'indice d'exposition mesurée (Groupes 1- 4) et d'indice d'exposition cumulée (Groupes A - D).

Groupe d'exposition	Yeux n (%)	Nez n (%)	Gorge irritée n (%)	Toux sèche n (%)
Groupe 1 (n = 86)	43 (50)	10 (11,6)	14 (16,3)	8 (9,3)
Groupe 2 (n = 82)	46 (56,1)	16 (19,5)	12 (14,6)	10 (12,2)
Groupe 3 (n = 75)	47 (62,6)	21 (28)	20 (26,7)	16 (21,3)
Groupe 4 (n = 91)	78 (85,7)	55 (60,5)	26 (28,6)	38 (41,8)
p *- tendance linéaire	0,0001	0,0001	0,0143	0,0001
Groupe A (n = 83)	42 (50,6)	18 (21,7)	12 (14,5)	12 (14,5)
Groupe B (n = 84)	56 (66,7)	23 (27,4)	20 (23,8)	22 (26,2)
Groupe C (n = 84)	54 (64,3)	29 (34,5)	19 (22,6)	20 (23,8)
Groupe D (n = 83)	62 (74,7)	32 (38,5)	21 (25,3)	18 (21,7)
p *- tendance linéaire	0,003	0,011	0,119	0,340

* régression logistique

Définition des groupes : Exposition mesurée = • **Groupe 1** : Niveau d'exposition au trichlorure d'azote < 0,14 mg/m³ • **Groupe 2** : Niveau d'exposition au trichlorure d'azote entre 0,14 et 0,22 mg/m³ • **Groupe 3** : Niveau d'exposition au trichlorure d'azote entre 0,22 et 0,50 mg/m³ • **Groupe 4** : Niveau d'exposition au trichlorure d'azote > 0,50 mg/m³ ; Exposition cumulée = • **Groupe A** : Exposition au trichlorure d'azote < 0,58 ans.mg/m³ • **Groupe B** : trichlorure d'azote entre 0,58 et 1,6 ans.mg/m³ • **Groupe C** : Trichlorure d'azote entre 1,6 et 3,12 ans.mg/m³ • **Groupe D** : Exposition au trichlorure d'azote > 3,12 ans.mg/m³.

TABLEAU IV

Paramètres fonctionnels pulmonaires (valeurs observées - valeurs prédites (± SD)) chez les hommes (n = 256) et les femmes (n = 78) maîtres nageurs sauveteurs répartis en fonction de leur exposition au trichlorure d'azote, exprimée en termes d'indice d'exposition cumulée.

Paramètres	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	p
Hommes	n = 63	n = 60	n = 63	n = 70	-
CVF (ml (SD))	677 (560)	688 (508)	633 (516)	492 (621)	0,05
VEMS (ml (SD))	474 (505)	484 (552)	508 (465)	333 (539)	0,25*
VEMS/CVF (% (SD))	0,63 (5,39)	0,37 (5,79)	2,20 (4,51)	1,15 (4,65)	0,30*
V max 50 (ml/s (SD))	168 (1 526)	81 (1 513)	390 (1 345)	91 (1 585)	0,90*
Femmes	n = 20	n = 24	n = 21	n = 13	-
CVF (ml (SD))	632 (436)	493 (379)	667 (396)	410 (518)	0,50
VEMS (ml (SD))	384 (332)	231 (378)	442 (298)	311 (471)	0,80*
VEMS/CVF (% (SD))**	- 0,96 (5,28)	- 9,72 (4,96)	- 7,62 (5,19)	- 6,20 (3,21)	0,05*
V max 50 (ml/s (SD))**	- 98 (984)	- 288 (1 015)	- 23 (987)	244 (884)	0,20*

p : Régression linéaire * Ajustement sur le tabagisme

CVF : Capacité Vitale Forcée ; VEMS : Volume Expiratoire Maximum en une Seconde

Définition des Groupes : • **Groupe A** : Concentration en trichlorure d'azote < 0,58 ans.mg/m³ • **Groupe B** : Concentration en trichlorure d'azote entre 0,58 et 1,6 ans.mg/m³ • **Groupe C** : Concentration en trichlorure d'azote entre 1,6 et 3,12 ans.mg/m³ • **Groupe D** : Concentration en trichlorure d'azote > 3,12 ans.mg/m³.

** Les valeurs négatives sont dues au fait que les débits expiratoires maximaux ont augmenté de manière moins importante que le volume pulmonaire.



hommes, le VEMS tend à croître proportionnellement à la CVF de sorte que leur ratio se situe autour de celui prévu. Par contre, chez les femmes, le VEMS augmente de manière moins importante que la CVF, d'où un ratio VEMS/CVF inférieur à celui prévu. Ceci ne doit pas masquer le fait qu'en réalité, les MNS hommes et femmes sont plutôt « supernormaux ».

Lorsque l'on évalue l'impact du niveau d'exposition, il apparaît que la tendance à avoir une capacité respiratoire accrue est moins prononcée chez les MNS ayant le plus haut degré d'exposition (Groupe D) (Tableau IV).

RÉACTIVITÉ BRONCHIQUE

Le test de réactivité bronchique à la métacholine a été effectué chez tous les MNS (n = 334) (Tableau V). La proportion des sujets présentant une HRB positive (HRB+ = chute de VEMS d'au moins 20 %) est supérieure chez les femmes par rapport aux hommes. Lorsque l'on analyse les données en termes d'exposition mesurée, un taux de prévalence élevé d'HRB+ est observé dans le Groupe de femmes 1. Chez les MNS hommes et femmes, la fréquence des tests HRB positifs ne semble pas influencée par le degré d'exposition, quel que soit l'indice considéré.

La pente dose-réponse (PDR) moyenne des femmes, dans l'ensemble, est inférieure (pente plus accentuée) à celle des hommes, mais aucune n'est liée significativement avec l'exposition cumulée ou mesurée. Il est à nouveau constaté que, lorsque les données sont exprimées en termes d'exposition mesurée, on observe une très faible valeur de la PDR (pente plus accentuée) pour le Groupe de femmes 1, conclusion compatible avec l'augmentation de la réactivité bronchique de ce groupe, comparativement au reste des groupes d'hommes et de femmes.

Aucune relation importante n'a été trouvée entre HRB+ et irritation trachéo-bronchique.

Discussion

Le trichlorure d'azote est une chloramine hautement irritante, dérivée de la réaction entre le chlore (Cl_2) utilisé pour désinfecter l'eau des piscines et des substances azotées d'origine humaine (par exemple : la sueur, l'urine) [2]. Dans les piscines ouvertes, le trichlorure d'azote a tendance à s'évaporer dans l'atmosphère et, par conséquent, il n'apparaît pas dangereux pour la santé. En revanche, dans les piscines couvertes - qui correspondent à un espace fermé et limité - la production permanente de NCl_3 peut conduire à des niveaux de

concentration suffisamment élevés pour générer des effets nuisibles à la santé. D'après la littérature, cette étude est la première destinée à examiner la relation entre les niveaux de concentration mesurée de NCl_3 , les symptômes chroniques et irritatifs et la réactivité bronchique du personnel des piscines couvertes.

En France, actuellement, il n'existe aucune recommandation particulière quant à la valeur limite d'exposition au NCl_3 . Des expériences effectuées sur des souris par Gagnaire et coll. [10] ont montré que cette chloramine est un irritant des voies respiratoires supérieures aussi puissant que le chlore. En s'appuyant sur les courbes dose-réponse, ces auteurs ont proposé une valeur limite à court terme de $0,5 \text{ mg/m}^3$ pour le NCl_3 . Si ces limites sont acceptables pour les humains, il est raisonnable de dire que la qualité de l'air des piscines classiques incluses dans cette étude était généralement bonne. Malheureusement, la même conclusion ne s'applique pas aux piscines ludiques puisque les concentrations de NCl_3 dépassent généralement la limite mentionnée ci-dessus, pour une période de travail de huit heures.

On a indiqué plus haut [2, 11] que les concentrations en NCl_3 étaient plus élevées dans les piscines ludiques que dans les piscines classiques. Cela a été attribué, plutôt intuitivement, à des phénomènes physiques susceptibles de favoriser la dispersion des polluants dans l'atmosphère des centres ludiques. Ce type de piscine comporte (a) une température d'eau et d'air plus élevée ; (b) un recyclage des polluants de l'air en raison des appareils de recyclage d'air ; et (c) des perturbations mécaniques à la surface de l'eau (par exemple des remous) [2]. Toutefois, l'observation des concentrations de NCl_3 va dans le sens contraire dans deux piscines ludiques et dans deux piscines classiques ; ceci laisse à penser que d'autres facteurs peuvent également intervenir.

Une prévalence élevée de symptômes d'irritation au niveau du nez et des yeux est observée chez les MNS hommes et femmes, et le taux augmente de manière importante avec l'accroissement de la concentration de NCl_3 , quel que soit l'indice d'exposition considéré. Malgré sa nature transversale, cette constatation soutient largement l'idée d'une relation de cause à effet. Cette hypothèse est renforcée par le fait que les MNS travaillent essentiellement en dehors de l'eau, aux abords de la piscine, rendant peu probable le fait que leurs symptômes soient liés à l'exposition de l'eau de la piscine, contrairement aux baigneurs [12].

A l'inverse, il n'a pas été observé de relation entre les symptômes respiratoires chroniques et les niveaux de NCl_3 . Bien que cette observation semble montrer une absence de cause à effet, il faut rappeler qu'aucune information n'est disponible sur l'histoire naturelle de l'exposition au trichlorure d'azote chez l'homme. On ne peut donc éliminer l'hypothèse que ces résultats ne

font que refléter le fait que l'exposition cumulée peut avoir été insuffisamment élevée.

On sait depuis longtemps que les champions de natation ont une plus grande capacité thoracique que les autres athlètes et ceux qui ne pratiquent pas la natation [13]. L'explication la plus intuitive est l'augmentation de la force des muscles respiratoires et/ou l'expansion alvéolaire chez les nageurs. Récemment, Armour et coll. [14] ont réalisé des tests de la fonction pulmonaire chez des nageurs d'élite, des coureurs d'élite et des sujets témoins. Ils ont constaté une capacité thoracique totale, un VEMS et une capacité de diffusion pulmonaire considérablement plus importante chez les nageurs, mais aucune différence n'a été observée pour les indices d'élasticité des poumons : ils en ont conclu que la capacité thoracique supérieure des nageurs d'élite n'était pas due à une force supérieure des muscles inspiratoires ou à une plus grande distension alvéolaire, mais plutôt à un nombre accru d'alvéoles. Bien que les MNS de l'étude présente ne soient pas des nageurs d'élite, ils se rapprochent beaucoup plus de ce groupe particulier d'athlètes que de la population générale ; par conséquent, on peut supposer que l'augmentation de leur capacité thoracique est due à la natation. Toutefois, puisque les paramètres de la fonction pulmonaire n'ont pas été mesurés longitudinalement, l'hypothèse de l'autosélection due à « l'effet de travailleur sain » ne peut pas être éliminée totalement.

La plupart des études ont montré que les femmes adultes ont une réactivité bronchique supérieure à celle des hommes adultes [15-18], bien que des conclusions

contradictoires aient été indiquées par quelques chercheurs [19-20]. Dans cette étude, le taux de prévalence des tests d'HRB positive (HRB+ = chute du VEMS de 20 % ou plus) chez les MNS femmes est deux fois supérieur à celui du groupe d'hommes (Tableau V). Ce résultat est indépendant des habitudes tabagiques et persiste après ajustement sur le VEMS de base et l'âge. Des investigations plus poussées ont montré que cette différence selon le sexe était due à un petit groupe de 13 femmes qui - lorsque les données ont été exprimées en termes d'exposition mesurée - sont regroupées dans le Groupe 1 (Tableau V).

Les facteurs invoqués pour expliquer cette réactivité bronchique supérieure chez les femmes comprennent (1) le plus faible calibre des voies respiratoires (ajusté pour la taille et l'âge) ; (2) un dépôt plus important de l'aérosol dans les voies respiratoires des femmes (pour une exposition identique à l'aérosol) et (3) des différences hormonales [21]. Toutefois, si ces facteurs étaient à l'origine de ces différences, elles auraient dû affecter les groupes de femmes de manière homogène.

Toutefois, deux autres facteurs pourraient expliquer la réactivité bronchique supérieure des 13 MNS femmes. Tout d'abord, ceci pourrait être d'origine raciale. Dans une étude, Sherman et coll. [22] ont montré que les femmes noires avaient une réactivité bronchique supérieure à celle des femmes blanches et que ces différences disparaissaient après ajustement sur le taux d'IgE sérique et le niveau du VEMS. Cependant, toutes les femmes MNS de l'étude présente sont de type caucasien. En second lieu, l'accroissement de la

TABLEAU V

Epreuve d'hyperréactivité bronchique à la métacholine (HRB) chez les maîtres nageurs sauveteurs (n = 334) répartis en fonction de leur exposition au trichlorure d'azote mesurée (Groupes 1- 4) et de leur exposition au trichlorure d'azote cumulée (Groupes A-D).

Paramètres	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	TOTAL
Hommes	n = 64	n = 69	n = 58	n = 65	n = 63	n = 60	n = 63	n = 70	n = 256
HRB + (n (%))	7 (11,7)	11 (15,9)	13 (22,4)	4 (6,1)	10 (17,3)	12 (20)	8 (12,7)	5 (7,1)	35 (13,7)
Pente dose-réponse [1/(pente + 2,5)] (moyenne (SD))	0,27 (0,07)	0,28 (0,08)	0,25 (0,09)	0,30 (0,07)	0,27 (0,08)	0,26 (0,09)	0,28 (0,07)	0,28 (0,07)	0,28 (0,08)
Femmes	n = 22	n = 13	n = 17	n = 26	n = 20	n = 24	n = 21	n = 13	n = 78
HRB + (n(%))	13 (59,1)	4 (30,8)	1 (5,9)	4 (15,4)	5 (25)	10 (41,7)	6 (28,6)	1 (7,7)	22 (28,2)
Pente dose-réponse [1/(pente + 2,5)] (moyenne (SD))	0,19 (0,09)	0,24 (0,11)	0,29 (0,07)	0,27 (0,07)	0,25 (0,08)	0,22 (0,01)	0,27 (0,10)	0,28 (0,07)	0,25 (0,09)

INRS

Définition des Groupes : • **Groupe 1** : Concentration en trichlorure d'azote < 0,14 mg/m³ • **Groupe 2** : Concentration en trichlorure d'azote entre 0,14 mg/m³ et 0,22 mg/m³ • **Groupe 3** : Concentration en trichlorure d'azote entre 0,22 mg/m³ et 0,50 mg/m³ • **Groupe 4** : Concentration en trichlorure d'azote supérieure à 0,50 mg/m³ • **Groupe A** : Concentration en trichlorure d'azote < 0,58 ans.mg/m³ • **Groupe B** : Concentration en trichlorure d'azote entre 0,58 et 1,6 ans.mg/m³ • **Groupe C** : Concentration en trichlorure d'azote entre 1,6 et 3,12 ans.mg/m³ • **Groupe D** : Concentration en trichlorure d'azote > 3,12 ans.mg/m³.

réactivité bronchique aurait pu résulter d'une exposition intense au trichlorure d'azote dans le passé, suivie d'une mutation vers un poste de travail « plus propre ». Ceci ne semble pas être le cas, puisque 6 d'entre elles ont toujours travaillé dans la même piscine et occupé le même poste de travail, peu exposé.

Conclusion

En conclusion, cette étude montre que les MNS des deux sexes, exposés au trichlorure d'azote, travaillant dans des piscines couvertes, risquent de présenter des symptômes irritatifs aigus. Une relation entre l'exposi-

tion cumulée au trichlorure d'azote et la réactivité bronchique à la méthacholine n'a pas pu être formellement démontrée ; toutefois, on ne peut éliminer complètement l'hypothèse que des sujets réactifs aient choisi d'abandonner ce métier. D'autre part, une relation entre l'exposition au trichlorure d'azote et l'hyper-réactivité bronchique transitoire – comme en témoignent les plaintes au niveau trachéo-bronchique – semble plausible. Des études longitudinales sont nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

Bibliographie

- [1] HARTEMANN P. Hygiènes des piscines. Pathologies et prévention. *Le Concours Médical*, 1994 ; **116** (12), pp. 969-970, 973-975.
- [2] HERY M, HECHT G., GERBER J.M., GENDRE J.C., HUBERT G., REBUFFAUD J. Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1995 ; **39** (4), pp. 427-439.
- [3] MINETTE A., ARESINI G., SANNA-RANDACCIO F, SEATON A., SMIDT U., TECULESCU D. Questionnaire de la CECA pour l'étude des symptômes respiratoires. Third EDITION, 1987, CECA, Luxembourg.
- [4] QUANIER PH H., TAMMELING G.J., COTES J.E., PEDERSEN O.F., PESLIN R., YERNAULT J.C. Lung volumes and forced respiratory flows. Report of the Working Party on Standardization of Lung Function Tests for the European Community for Coal and Steel. *The European respiratory journal supplement*, 1993 ; **6** (16), pp. 5-40.
- [5] GARDNER R.M. American Thoracic society statement ATS statement Report of snowbird workshop on standardisation of spirometry. *The American review of respiratory disease*, 1979 ; **119**, pp. 831-838.
- [6] BOHADANA A.B., MASSIN N., WILD P., KOLOPP M-N, TOAMAIN J-P. Respiratory symptoms and airway responsiveness in apparently healthy workers exposed to flour dust. *European respiratory journal*, 1994 ; **7** (6), pp. 1070-1076.
- [7] MASSIN N., BOHADANA A.B., WILD P., GOUTET P., KIRSTETTER H., TOAMAIN J-P. Airway responsiveness, respiratory symptoms, and exposure to soluble oil mist in mechanical workers. *Occupational and environmental medicine*, 1996 ; **53** (11), pp. 748-752.
- [8] O'CONNOR G., SPARROW D., TAYLOR D., SEGALL M., WEISS S. Analysis of dose-response curves to methacholine. An approach suitable for population studies. *The American review of respiratory disease*, 1987 ; **136** (6), pp. 1412 -1417.
- [9] SAS INSTITUTE. SAS/STAT User's guide, version 6, 4th edition, vol 2. Cary, North Carolina, SAS Institute Incorporation ; 1989, 846 p.
- [10] 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** (6), pp. 405-409.
- [11] LAWRENCE M. Swimming pool with waves: quality of air disturbed. *Pollution atmosphérique*, 1990 ; **127**, pp. 330-331.
- [12] MOMAS I., BRETTE F., SPINASSE A., SQUINAZI F., DAB W, FESTY B. Health effects of attending a public swimming pool : follow up of a cohort of pupils in Paris. *Journal of epidemiology and community health*, 1993 ; **47** (6), pp. 464-468.
- [13] ANDREW GM, BECKLAKE M R, GULERIA JS, BATES DV. Heart and lung functions in swimmers and non-athletes during growth. *Journal of Applied physiology*, 1972 ; **32**, pp. 245-251.
- [14] ARMOUR J., DONNELLY P.M., BYE P.T.P. The large lungs of elite swimmers : an increased alveolar number? *European respiratory journal*, 1993 ; **6** (2), pp. 237-247.
- [15] CERVERI I., BRUSCHI C., ZOLA M.C., MACCARINI L., GRASSI M., LEBOWITZ D., RAMPULLA C., GRASSI C. Smoking habit and bronchial reactivity in normal subjects : a population based study. *The American review of respiratory disease*, 1989 ; **140** (1), pp. 191-196.
- [16] BAKKE PS, BASTE V, GULSVIK A. Bronchial responsiveness in a Norwegian community . *The American review of respiratory disease*, 1991 ; **143** (2), pp. 317-322.
- [17] PEAT JK, SALOME MC, BERRY G, WOOLCOCK A. J. Relation of dose-response slope to respiratory symptoms and lung function in a population of adults living in Busselton, Western Australia. *The American review of respiratory disease*, 1992 ; **146** (4), pp. 860-865.
- [18] PAOLETTI P, CARROZZI L, VIEGI G, MODENA P, BALLERIN L, DI PEDE F, GRADO L, BALDACCIO S, PEDRESCHI M, VELLUTINI M, PAGGIARO P, MAMMINI U, FABBRI L, GIUNTTINI L. Distribution of bronchial responsiveness in a general population : effect of sex, age, smoking, and level of pulmonary function. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 1995 ; **151** (6), pp. 1770-1777.
- [19] BURNEY PGJ, BRITTON JR, CHINN S, TATTERSFIELD AE, PAPACOSTA AO, KELSON MC, ANDERSON F, CORFIELD DR. Descriptive epidemiology of bronchial reactivity in an adult population : results from a community study. *Thorax*, 1987 ; **42** (1), pp. 38-44.
- [20] RUCKEN B., SCHOUTEN JP, WEISS ST, SPEIZER FE, VAN DER LENDE R. The relationship of nonspecific bronchial responsiveness to respiratory symptoms in a random population sample. *The American review of respiratory disease*, 1987 ; **136** (1), pp. 62-68.
- [21] ZAMEL N. Threshold of airway response to inhaled methacholine in healthy men and women. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 1984 ; **56** (1), pp. 129-132.
- [22] SHERMAN C.B, TOLLERUD DJ, HEFFNER LJ, SPEIZER FE, WEISS ST. Airway responsiveness in young black and white women. *The American review of respiratory disease*, 1993 ; **148** (1), pp. 98-102.