



# LA LUTTE CONTRE LA TRICHLORAMINE

Proposition technologique pour le traitement de l'eau dans les piscines de Caen la mer

# Le chlore dans l'eau quelles formes prend il?

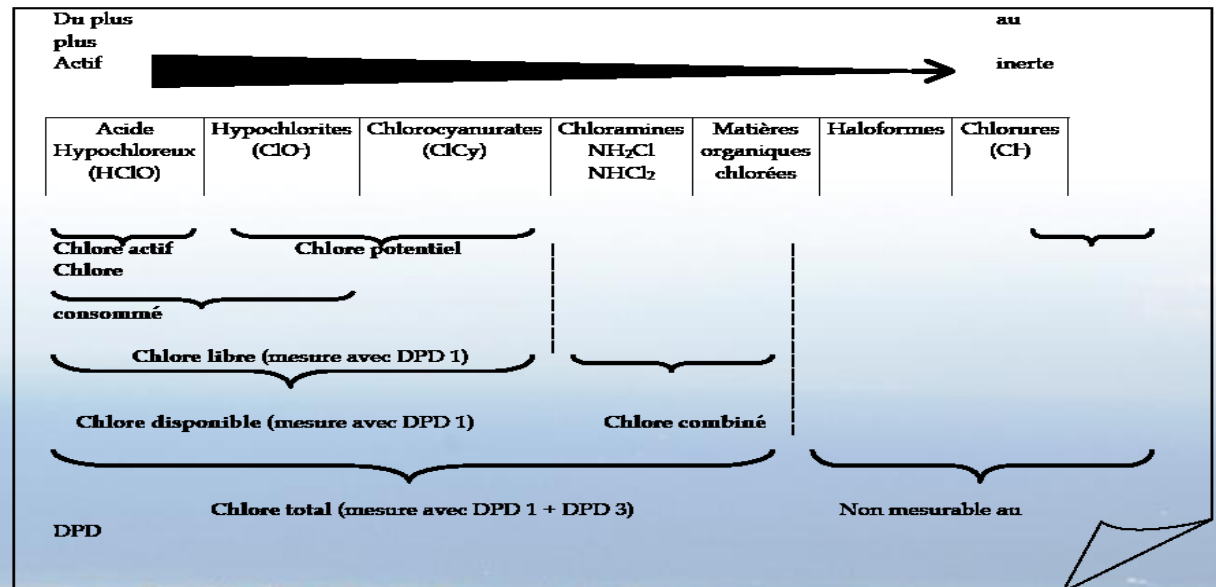
- Le chlore peut être sous forme libre ou combiné. Le chlore total correspond à ces 2 formes.
- Dans l'eau, le chlore libre se trouve sous trois formes d'états en équilibre :
  - l'acide hypochloreux (HOCl), l'ion hypochlorite (ClO<sup>-</sup>) et l'ion chlorure (Cl<sup>-</sup>).
- Les concentrations respectives de ces trois formes dépendent du pH et de la température.
- L'acide hypochloreux possède l'action biocide la plus efficace ; il est majoritaire en milieu acide.
- Le chlore combiné est obtenu par différence entre le chlore total et le chlore libre (ou disponible).

Ce schéma représente les différentes formes chlorées présentes dans l'eau des bassins. vous pouvez le voir les notions de :

- Cl. Actif
- Cl. Libre
- Cl. Combiné
- Cl. Disponible
- Cl. Total

Toutes ces formes chlorées sont représentées.

Ce tableau permet de matérialiser les différentes appellations utilisées.



# Ce chlore combiné, de quoi est il constitué ?

Le mélange Chlore dans l'Eau réagit avec la matière organique apportée par les baigneurs (sueur, urine, squames de la peau, résidus de cosmétiques...), de nombreux produits potentiellement toxiques sont formés, parmi lesquels notamment

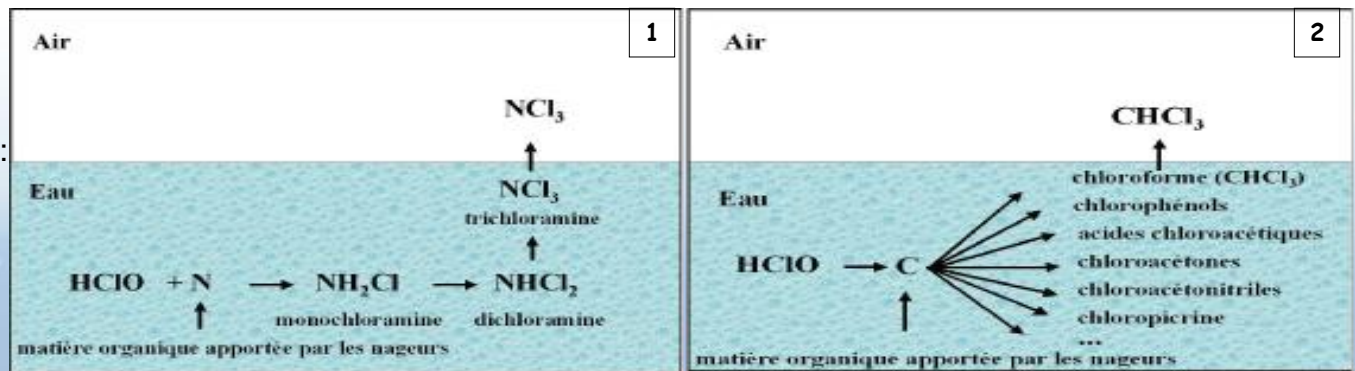
➤ **Des chloramines lors de la réaction avec la matière azotée (de 3 sortes):**

- les monochloramines ( $\text{NH}^2\text{Cl}$ )
- les dichloramines ( $\text{NHCl}^2$ ) et
- les trichloramines ( $\text{NCl}^3$ ) (ou *Trichlorure d'azote*)

➤ **Du chloroforme ( $\text{CHCl}^3$ ) (ou *Trichlorométhane*) lors de la réaction avec la matière carbonée.**

Ci contre : le schéma des 2 réactions chimiques du chlore :

- 1) Avec la matière azotée.
- 2) Avec la matière carbonée.



➤ **De matières organiques chlorées. (Nous n'évoquerons que la partie chloramines)**

# Les CHLORAMINES

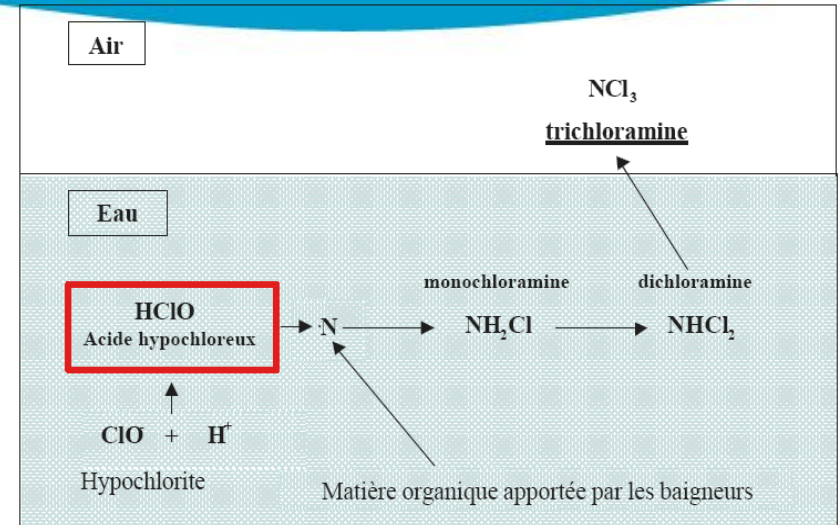
➤ Les chloramines se forment lors de la réaction du chlore avec la matière azotée de ( 3 sortes):

- les monochloramines ( $\text{NH}^2\text{Cl}$ )
- les dichloramines ( $\text{NHCl}^2$ ) et
- les trichloramines ( $\text{NCl}^3$ ) *Trichlorure d'azote*

➤ Comme le montre le schéma ci-contre ces chloramines n'ont pas toutes la même évolution.

- La monochloramine reste en solution dans l'eau.
- La dichloramine reste en solution dans l'eau mais elle est responsable de l'irritation des yeux et de l'odeur sur la peau.
- **La trichloramine**, également connue sous le nom de trichlorure d'azote, est un composé chimique avec la formule  $\text{NCl}^3$ . Elle se retrouve préférentiellement dans l'atmosphère du hall des bassins.
  - Au-delà d'une concentration de  $0,5 \text{ mg/m}^3$  (dans l'air), le trichlorure d'azote est responsable, non seulement, d'irritations au niveau des yeux, du pharynx, du nez, mais aussi des voies respiratoires.
  - Une étude de l'INRS (4<sup>o</sup> trimestre 2005) intitulée « Réduction de l'exposition des travailleurs au trichlorure d'azote ( $\text{NCl}^3$ ) » développe les dangers, pour les personnes exposées à ces émanations, ainsi que les moyens de diminuer la production et ceux dévolus à leur élimination.

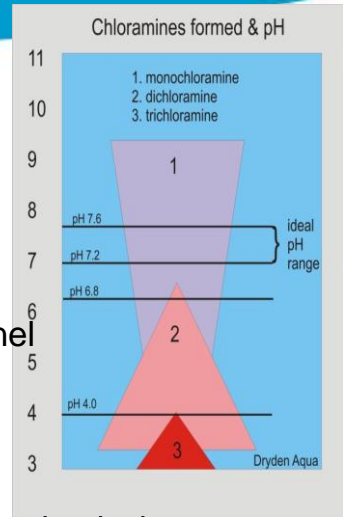
Dans sa conclusion elle signale : **La limitation de l'exposition des salariés à  $\text{NCl}^3$  à une valeur de  $0,15 \text{ mg/m}^3$**  serait une réponse de prévention satisfaisante pour les hygiénistes.



# La TRICHLORAMINE (ou trichlorure d'azote $\text{NCl}_3$ ).

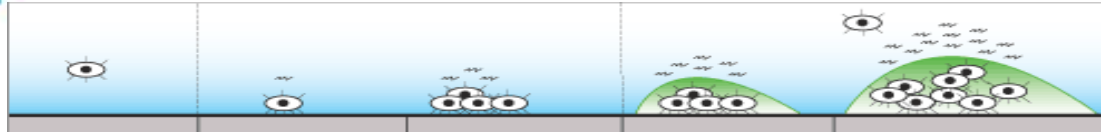
## Comment cette trichloramine se produit t elle ?

- Ces dernières années, bon nombre de rapports et articles ont été publiés concernant la trichloramine et ses implications potentielles comme facteur de cause de l'asthme professionnel et de l'asthme chez les enfants et chez les personnels travaillant à son contact.
- Cependant, il n'y a eu jusqu'ici aucune explication publiée explicitant la production de trichloramines et les moyens de résoudre le problème.
- Selon les normes allemandes DIN 19643 « la production de chloramines de l'eau de traitement de piscine » est **une fonction du pH de l'eau** selon les équations suivantes :
  - $\text{NH}_3 + \text{HOCl} > \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$  **pH : 6-8** = Monochloramine
  - $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} > \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$  **pH : 5-6** = Dichloramine : *C'est la Di qui pique les yeux et dont l'odeur reste sur la peau.*
  - $\text{NHCl}_2 + \text{HOCl} > \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$  **pH : < 5** = Trichloramine : *Volatile, elle s'échappe dans l'air c'est elle l'odeur de piscine !*
- Selon les équations ci-dessus la fabrication de trichloramines se produit principalement **au-dessous d'un pH 5**.
- L'eau de piscine a normalement un pH entre 6.9 et 7.7. Ainsi, comment peuvent être produits des Di et des trichloramines ? La trichloramine ne peut pas être produit dans l'eau parce que le pH est trop haut ;
- Toutefois chaque surface en contact avec l'eau de piscine **a un biofilm** mince et dans ce biofilm, le pH de l'eau est acide (pour exemple 1 m<sup>3</sup> de sable du filtre représente 3 000 m<sup>2</sup> de surface recouvert de biofilm).



**La production de Trichloramines a donc lieu sur chaque surface portant un biofilm et en contact avec l'eau ; plus est épais le biofilm, plus la production est grande.**

# Le BIOFILM



*Schéma de la formation du biofilm*

## Qu'est ce que le Biofilm ?

- Le biofilm est composé d'un amas de micro-organismes (*bactéries, champignons, algues ou protozoaires*), qui adhèrent entre eux et à une surface en sécrétant une couche de protection. Celle-ci leur permet de résister et de se reproduire davantage.
- Une bactérie flottant dans le circuit hydraulique rencontre une surface dure et y adhère par une liaison réversible. La bactérie se multiplie et développe une couche protectrice visqueuse. Dès lors que cette couche s'est développée, les bactéries forment des liaisons solides et sont quasiment impossibles à enlever.
- Une fois présent, cet ensemble de micro-organismes va développer ainsi une résistance aux méthodes de désinfection chimique et chaleur.

## Où le trouve t on ?

- A priori, le biofilm peut s'installer sur un grand nombre de surfaces (sauf le cuivre qui est toxique). Ainsi, en général il prolifère surtout dans les endroits difficilement accessibles au nettoyage et à la désinfection.
- La plus grande surface de n'importe quelle piscine est le filtre à sable. Chaque mètre cube de sable a une superficie de l'ordre de 3000 mètres carrés.
- Nous savons d'expérience que le sable agit en tant qu'excellent substrat pour la croissance des bactéries, et que le nouveau sable est colonisé par une gamme d'espèces bactériennes sous quelques jours. Le lien d'alginate entre les bactéries et la surface peut se former en moins de 30 secondes.
- En outre, les bactéries continuent à excréter des alginates comme mécanisme protecteur contre l'oxydation par le chlore. Les niveaux de chlore utilisés dans la plupart des piscines n'éviteront pas la croissance des bactéries sur le sable, ou sur aucune autre surface en contact avec l'eau.

# Comment éliminer ce biofilm ?

- Le chlore n'affecte pas les bactéries dans les biofilms existant dans le filtre à sable, les canalisations ou les parois.

## Quel procédé alternatif pourrait on utiliser ?

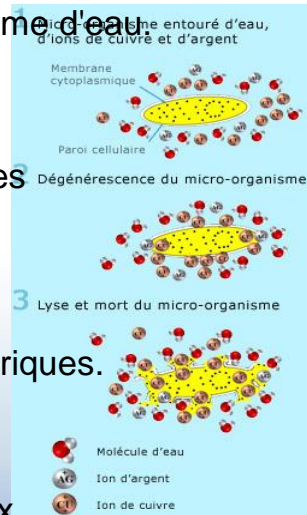
- Aux États-Unis, l'ionisation cuivre-argent est principalement utilisée pour la désinfection des piscines.
- Le cuivre-argent est souvent utilisé pour limiter les sous-produits créés par une désinfection au chlore.
- L'utilisation du chlore peut ainsi être réduite de 80%. Cependant, un autre désinfectant doit être ajouté en addition au cuivre-argent (à cause du fait que le cuivre-argent ne peut éliminer la matière organique, tels que les tissus de la peau, les cheveux, l'urine de l'eau des piscines).
- L'ionisation cuivre-argent ne dépend pas des températures. Elle est active dans la totalité du système d'eau.

## Comment ça marche ?

- L'ionisation est une électrolyse avec des ions métalliques cuivres ( $\text{Cu}^{++}$ ) et argent ( $\text{Ag}^+$ ).
- Les ions positivement chargés vont se lier avec les cellules négativement chargées des organismes bactériologiques.
- Cette liaison entraîne la destruction totale de la cellule. (Le dosage nécessaire pour détruire les bactéries est de 0.1 mg/l de  $\text{Cu}^{++}$  pour une inactivation en 2.5 heures et de 0.2-0.8 mg/l pour une inactivation en 1.5 heures.)
- La présence de traces d'argent va renforcer synergiquement l'efficacité des ions cuivreux et cuivriques.

## Cette ionisation peut détruire le biofilm ? *Ce milieu qui permet la fabrication des Trichloramines.*

- Une étude de Mc.Lean et al. (1993) s'est intéressée à l'activité microbienne de différents matériaux utilisés pour les cathéters sur des souches de *staphylococcus aureus*. En effet l'argent et le cuivre sont reconnus comme inhibiteurs de la croissance bactérienne.
- **Cette étude conclue que la combinaison Ag-Cu empêchait la formation d'un biofilm.**



# Diminuer l'injection de chlore

## Autres avantages de la ionisation Cu/Ag

- L'ionisation cuivre/argent est un **procédé naturel de stérilisation et de floculation**. Placées dans une chambre d'ionisation, des électrodes libèrent de très faibles quantités de cuivre et d'argent dans l'eau.
- L'eau ainsi obtenue véhicule dans la piscine des **ions cuivre (excellent algicide et très bon floculant)** et des **ions argent (agent désinfectant et bactéricide)**.
- L'ionisation cuivre/argent **convient à toute sorte d'eau** (forage, puits, source) et **permet de réduire de 80 à 90 % l'utilisation du chlore**

## Quelques constatations :

- *la formation des sous-produits de la chloration dépend de la concentration en chlore.*
- *Lorsque celui-ci est utilisé en complément d'un autre moyen de désinfection, la gamme de concentration peut être réduite et dès lors, la formation des sous-produits est moindre.*
- *Une élimination efficace des matières organiques par le principe de floculation/filtration limite la formation de chlore combiné première étape de production des sous-produits de chloration.*
- *Le chlore reste dès lors essentiellement sous forme de chlore libre et les sous-produits n'apparaissent qu'à de , , faibles concentrations.*

.(\*\*) *Plusieurs études ont montré que la vitesse d'inactivation des microorganismes résultant de la combinaison du procédé cuivre/argent et d'un halogène (le chlore) pouvait être supérieure à celle du chlore utilisé à des concentrations plus élevées (Efficacy of Copper/Silver Ion generation with Reduced Chlorine Concentration on disinfection and operation of a municipal swimming pool. [www.biophysica.com/swimming-pools.htm](http://www.biophysica.com/swimming-pools.htm)). Ainsi Gerba and all ont démontré que la combinaison du système Cu (300-400 ppb)/Ag (40 ppb) et d'une chloration de l'ordre de 0,1/0,4 ppm présente un plus grand pouvoir désinfectant que le chlore utilisé seul et en plus forte concentration (1 ppm).*