

QU'EST-CE QUE LA CHLORATION?

Qu'est-ce que la chloration?

Des micro-organismes peuvent être trouvés dans des rivières, lacs et eau souterraine. Même si ce ne sont pas tous les micro-organismes qui peuvent être nuisibles pour notre santé, il y en a certains qui peuvent causer des maladies graves. Ils sont appelés comme pathogènes. Les micro-organismes pathogènes peuvent s'infiltrer dans un système de distribution d'eau potable, causant ainsi des maladies pour ceux qui les consomment.

Pour combattre ces maladies, des méthodes de désinfection sont utilisées. Des processus de traitement de l'eau comme la coagulation, la sédimentation, la filtration et la chloration créent de l'eau qui sûre pour la consommation publique.

La chloration est une des méthodes que l'on peut utiliser pour désinfecter l'eau. Cette méthode a été utilisée il y a plusieurs siècles et elle est encore utilisée aujourd'hui. C'est une méthode de désinfection chimique qui utilise divers type de chlore ou des substances contenant du chlore pour oxyder et désinfecter la source d'eau potable.

L'histoire de la chloration

On a d'abord découvert le chlore en Suède en 1744. À ce moment-là, les gens croyaient que l'odeur de l'eau était responsable de la transmission des maladies. En 1835, le chlore a été utilisé pour enlever les odeurs de l'eau, mais ce n'est quand 1890 que le chlore a été trouvé en tant qu'outil efficace pour la désinfection et une façon de réduire la quantité de maladies transmises dans l'eau. Avec cette découverte, la chloration a commencé en Grande-Bretagne et c'est ensuite répandu aux États-Unis en 1908 et au Canada en 1917. Aujourd'hui la chloration est la méthode de désinfection la plus populaire et elle est utilisée pour désinfecter l'eau à travers le monde.

Pourquoi chlorons-nous notre eau?

Une grande quantité de recherches et d'études ont démontrées l'efficacité du chlore dans les usines de traitement des eaux qui utilisent le chlore pour désinfecter. Un avantage principal de la chloration est qu'il est efficace contre les virus et bactéries, cependant il ne peut pas éliminer tous les microbes.

Dans des cas où les microbes qui résistent au chlore ne sont pas la source principale de soucis, la chloration sera efficace car elle est peu coûteuse et efficace. Le processus de chloration est facile à mettre en œuvre lorsqu'elle est comparée à d'autres méthodes de traitement de l'eau. C'est une méthode efficace dans des situations d'urgence car elle peut éliminer une surcharge de microbes en peu de temps.

Comment le chlore élimine-t-il les micro-organismes?

Le chlore élimine les micro-organismes en endommageant la membrane de la cellule. Une fois que la membrane de la cellule est affaiblie, le chlore peut entrer dans la cellule et perturber la respiration de la cellule et le processus d'ADN (2 processus nécessaires pour la survie de la cellule).

Quand et comment chlorons-nous notre eau?

La chloration peut être faite à tout moment. Il n'y a pas de temps spécifique où le chlore doit être ajouté.

La pré-chloration est lorsque le chlore est ajouté presque immédiatement après avoir entré dans l'usine de traitement. Lors de l'étape de pré-chloration, le chlore est habituellement ajouté directement à l'eau non traitée

et on l'introduit dans un mélangeur instantané (malaxeur assurent le mélange uniforme du chlore). Le chlore est ajouté pour éliminer les algues et d'autres formes de vie aquatique pour qu'ils ne causent pas de problèmes au stade avancé de traitement. La pré-chloration dans le mélangeur instantané enlève odeur et goût et contrôle la croissance biologique partout dans le système de traitement. Le chlore oxydera aussi le fer, le manganèse et/ou le sulfure d'hydrogène qui est présent lors du processus de sédimentation.

La désinfection peut aussi être faite juste avant la filtration et après la sédimentation. Cela contrôlera la croissance biologique, le fer, le manganèse, le goût, l'odeur, la croissance d'algues et la couleur de l'eau.

La chloration peut également être faite comme étape finale du traitement. Elle est habituellement faite dans la plupart des usines de traitement. L'objectif principal de cette addition de chlore est la désinfection de l'eau et de maintenir des résidus de chlore lorsqu'ils voyageront dans les réseaux de distribution. L'eau filtrée avec du chlore est plus économique parce qu'une valeur plus basse CT est exigée. C'est une combinaison de concentration (C) et le temps de contact (T). Le concept du CT vous sera expliqué plus tard dans cette fiche d'information. Avant que l'eau ait subi le processus de sédimentation et de filtration, il y a beaucoup d'organismes indésirables qui ont été enlevés et par conséquent moins de chlore et peu de temps de contact est exigé pour réaliser la même efficacité. Pour soutenir et maintenir le taux de chlore résiduel, un processus appelé rechloration est parfois faite dans le système de distribution.

Chlore résiduel, point de contrôle

N'importe quel type de chlore qui est ajouté à l'eau pendant le processus de traitement formera de l'acide hypochloreux (HOCl) et des ions hypochlorites (OCI⁻), qui sont des composés de désinfection principaux. Plus de détails sont fournis plus tard dans cette fiche d'information.

Une forme de chlore + H₂O -> HOCl + OCI⁻

Des deux substances, l'acide hypochloreux est plus efficace. La quantité de chaque substance dans l'eau dépend du niveau du pH de l'eau avant l'addition du chlore. À niveau de pH bas, l'acide hypochloreux dominera. La combinaison d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite compose ce qui s'appelle un chlore résiduel. Le chlore résiduel a un potentiel élevé d'oxydation et une désinfection plus efficace que d'autres formes de chlore, comme la chloramine. Le potentiel d'oxydation est une mesure qui dicte comment un composé réagira avec un autre. Un haut potentiel d'oxydation signifie que beaucoup de composés différents sont capables de réagir avec le composé. Le chlore combiné est la combinaison des composés organiques et des chloramines, qui sont produits en raison de la réaction entre le chlore et l'ammoniaque. Les chloramines ne sont pas aussi efficaces pour désinfecter l'eau comparée au chlore résiduel en raison d'un potentiel d'oxydation inférieur. L'ammoniaque n'est pas un produit au début du processus de traitement de l'eau, mais il peut être ajouté à la fin du traitement pour créer des chloramines comme désinfectant secondaire. Les chloramines restent dans le système plus longtemps, elles assurent de l'eau potable propre dans tout le système de distribution.

La quantité de chlore qui est exigée dans l'eau dépend des impuretés de l'eau qui doivent être traitées. Beaucoup d'impuretés dans l'eau exigent une grande quantité de chlore. Le chlore doit d'abord réagir avec toutes les impuretés dans l'eau avant qu'un chlore résiduel ne soit présent. On appelle la quantité de chlore exigée pour traiter les impuretés « La demande de chlore ». Une fois que la demande de chlore a été rencontrée, le point de contrôle de chloration est arrivé. Après le point de contrôle, l'addition de chlore supplémentaire aura comme conséquence un chlore résiduel. La plupart des installations de traitement de l'eau ajouteront de l'eau au-delà du point de contrôle. S'il y a de l'ammoniac présent dans l'eau lors de la chloration, on attendra que l'ammoniac est entièrement réagit avec le chlore. Entre 10 et 15 fois plus de chlore que d'ammoniac est exigé avant que le chlore résiduel et le point de contrôle de la chloration ne puissent être réalisés. De petite usine de traitement ajoute une fraction du chlore exigé et ne désinfecte pas correctement leurs provisions en eau.

Le type de chloramine formée dépend du pH de l'eau avant l'ajout du chlore. Entre 4,5 et 8,5, la monochloramine et dichloramine sont créés dans l'eau. À un pH de 4,5, le dichloramine est la forme dominante. Au-dessus de 8,5, la monochloramine est la forme dominante. L'acide hypochloreux réagit avec l'ammoniaque à une vitesse plus rapide à un niveau de pH autour de 8,3.

Le rapport chlore/ammoniaque caractérise si quelque chose de résiduel est produit.

Il y a-t-il d'autres utilisations pour le chlore?

Le but principal de la chloration est de désinfecter l'eau, mais il y a beaucoup d'autres avantages. À la différence de certaines méthodes comme l'ozonation et le rayonnement ultraviolet, la chloration est capable de fournir un résiduel pour empêcher la croissance de microbe pathogène dans les réservoirs de stockage d'eau et dans le réseau de distribution. Beaucoup d'organisations environnementales ont fixées des normes pour la quantité de chlore résiduel qui doit être présent à tous les points du système. Les directives pour chaque province sont illustrées dans le tableau ci-dessous.

Province	Chlore résiduel
Alberta	0.2mg/L – 4.0 mg/L
Colombie-Britannique	Pas de normes
Manitoba	> 0.5 mg/L
Terre-Neuve et Labrador	> 0.3 mg/L
Nouveau-Brunswick	Dépendant du permis
Nouvelle-Écosse	0.2 mg/L – 4.0 mg/L
Ontario	0.05mg/L
Île-du-Prince-Édouard	Pas de normes
Québec	>0.3 mg/L
Saskatchewan	> 0.1 mg/L
Territoires du Nord-Ouest et Nunavut	> 0.2 mg/L
Yukon	> 0.2 mg/L

En plus de fournir un résiduel, ajouter du chlore à l'eau oxyde le fer, manganèse, enlève le goût et l'odeur, enlève la couleur de l'eau, détruit le sulfure d'hydrogène et facilite d'autres processus de traitement de l'eau comme la sédimentation et la filtration.

Le chlore, est-ce tous les mêmes?

Le procédé de chloration consiste à ajouter du chlore à l'eau, mais le produit pour la chloration ne doit pas être nécessairement du chlore pur. La chloration peut être effectuée avec des substances contenant du chlore. Selon les conditions de pH exigées et les options de stockage disponibles, des substances contenant du chlore

différentes peuvent être utilisés. Les trois types les plus communs de chlore utilisés pour le traitement de l'eau sont : gaz-chlore, hypochlorite de sodium et hypochlorite de calcium.

Gaz-chlore

Le gaz-chlore est de jaune verdâtre et est très toxique. Il est plus lourd que l'air et descendra donc vers la terre s'il est libéré de son récipient. L'effet toxique du gaz-chlore fait qu'il est un bon désinfectant. Il est toxique pour les microbes pathogènes et les humains. C'est un irritant respiratoire, car il peut irriter les membranes de la peau et de mucus. L'exposition à de grand volume de gaz-chlore peut causer de sérieux problème de santé, y compris la mort. Cependant, il est important d'utiliser le gaz-chlore pour la désinfection de l'eau. Le gaz-chlore est vendu sous forme de liquide compressé. Le chlore, comme un liquide, est plus lourd que l'eau. Si le gaz-chlore est libéré de son contenant, il reprendra rapidement sa forme gazeuse. Le gaz-chlore est la forme de chlore la moins chère à utiliser. La quantité typique exigée pour le traitement de l'eau est de 1-16mg/L d'eau. Si la qualité de l'eau est mauvaise, une concentration plus grande sera exigée pour le traitement de cette eau si le temps de contact ne peut être augmenté. Quand le gaz-chlore (Cl₂) est ajouté à l'eau (H₂O) cela produit de l'acide hypochlorite (HOCl) et l'acide hypochlorite se dissociera.

Ions (OCl⁻) et ions d'hydrogène (H⁺).



Puisque des ions d'hydrogène sont produits, l'eau deviendra plus acide (le pH diminuera). La quantité de dissociation dépend du pH de l'eau original. Si le pH de l'eau est au-dessous de 6,5, presque qu'aucune dissociation s'effectuera et l'acide hypochloreux dominera. Un pH au-dessus de 8,5, provoquera une dissociation complète du chlore et les ions d'hypochlorite domineront. Il y aura présence d'ions d'acide hypochloreux et hypochlorite, si le pH se situe entre 6,5 et 8,5. Ensemble, l'acide hypochloreux et les ions d'hypochlorites, sont appelé chlore résiduel. L'acide hypochloreux est le désinfectant le plus efficace, donc un pH inférieur est préférable pour la désinfection.

Hypochlorite de calcium

L'hypochlorite de calcium (CaOCl) se compose de sel de calcium et d'acide hypochloreux. Il est produit en dissolvant une solution de gaz-chlore (Cl₂) dans une solution d'oxyde de calcium (CaO) et d'hydroxyde de sodium (NaOH). L'hypochlorite de calcium est blanc et est un solide corrosif qui vient sous forme de comprimé ou de poudre. Cette matière est très stable et une fois emballé correctement, un grand nombre peut être acheté et stocké jusqu'à l'utilisation. Le produit chimique est très corrosif et exige une certaine méthode pour l'employer lors du traitement de l'eau. L'hypochlorite de calcium doit être stocké dans un endroit sec et ne pas être gardé sur des matériaux organiques. Il ne peut pas être stocké sur du bois, du tissu ou de l'essence car la combinaison de l'hypochlorite de calcium et les matériaux organiques peuvent créer assez de chaleur et causer une explosion. Il ne doit pas être gardé dans un endroit humide car il absorbera l'humidité et formera du gaz-chlore toxique. L'hypochlorite de calcium à une odeur de chlore très forte et c'est quelque chose qui ne devrait pas être oublié lors de l'entreposage.

En traitant l'eau, une quantité moindre de calcium hypochlorite est nécessaire en utilisant du gaz-chlore. En utilisant 1-16 mg/L de gaz-chlore, seulement 0,5-5 mg/L d'hypochlorite de calcium est exigé. Quand l'hypochlorite de calcium est ajouté à l'eau, l'hypochlorite et des ions de calcium sont produits.



À la place de diminuer le pH, comme on le fait avec le gaz-chlore, l'hypochlorite de calcium augmente le pH de l'eau (fabrication d'eau moins acide). Cependant, l'acide hypochlorite et l'hypochlorite dépendent toujours du pH de l'eau. En conséquence, l'hypochlorite de calcium et le gaz-chlore produisent du chlore résiduel de même type.

Hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est composé de sel de sodium et d'acide hypochlorite. Il est produit quand le gaz-chlore est dissout dans une solution d'hydroxyde de sodium. Il est sous forme liquide, clair, une couleur jaune clair et une odeur de chlore forte. L'hypochlorite de sodium est extrêmement corrosif et doit être stocké dans un endroit frais, sombre et sec. Cette matière se décompose naturellement, donc il ne peut être stocké pendant plus d'un mois. De tous les types de chlore disponible pour l'utilisation, c'est le plus facile à manipuler.

La quantité d'hypochlorite de sodium exigé pour le traitement de l'eau est beaucoup moindre comparé aux deux autres formes de chlore. Une dose de 0,2-2 NaOCl/L est recommandée. Comme l'hypochlorite de calcium, il produira des ions d'hypochlorite, mais à la place d'être des ions de calcium ce sera des ions de sodium. Il augmentera également le pH de l'eau. Pour obtenir de l'acide hypochloreux, un désinfectant plus efficace, le pH de l'eau devrait être diminué.

$\text{NaOCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OCl}^-$

L'utilisation du chlore est-elle une façon sûre d'éliminer les microbes pathogènes?

La chloration est très efficace contre les virus et bactérie. Cependant, elle ne peut pas désinfecter tout les microbes pathogènes. Certains microbes pathogènes sont résistants aux effets du chlore. Le cryptosporidium et le giardia sont deux microbes pathogènes qui préoccupent beaucoup à cause des maladies sérieuses qu'elles peuvent causer. Le cryptosporidium est la cause de l'épidémie qui est survenue à North Battleford en 2001 et à Milwaukee en avril 1993. Pour plus d'information, lisez les fiches d'information se rapportant à ceux-ci.

La chloration de l'eau peut-elle se « dérégler »?

Il y a un certain nombre de facteur qui affecte la désinfection de l'eau. La concentration ou le dosage du chlore ainsi que le temps sont les facteurs les plus importants.

Le chlore a besoin de temps pour éliminer tous les micro-organismes qui peuvent être présents dans l'eau. Plus le chlore sera longtemps en contact avec l'eau, plus le procédé sera efficace. Le temps de contact est la durée de temps entre l'ajout du chlore dans l'eau et quand elle est employée ou consommée.

On peut faire le même rapport en considérant la concentration du chlore. Plus la concentration en chlore est haute, plus le procédé de désinfection sera efficace. À la différence du rapport entre la concentration du chlore et l'efficacité de la désinfection, la concentration du chlore et le temps de contact forme un rapport inverse. Plus la concentration du chlore est haute, plus le temps de contact nécessaire diminue. Pour déterminer le niveau de désinfection (d), une valeur CT peut être calculée. Cette valeur est le produit de la concentration en chlore (C) et du temps de contact (T). Voici la formule : $C * T = D$. Ce concept prouve qu'une augmentation de la concentration du chlore nécessite moins de temps de contact pour réaliser le même niveau de désinfection. Une autre possibilité serait d'augmenter le temps de contact nécessiterait une concentration en chlore moins élevée pour avoir le même niveau de désinfection.

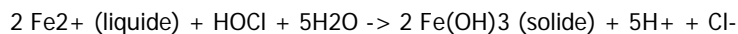
La valeur exigée de CT dépend de plusieurs facteurs, incluant le type de microbes pathogènes dans l'eau, la turbidité de l'eau, le pH de l'eau et la température de l'eau. À des niveaux élevés de turbidité ou de pH, la valeur

du CT (le niveau de désinfection) devra être importante. Une température plus haute de l'eau et niveau plus bas de pH exigeront une valeur plus basse de CT.

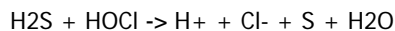
Réaction d'impureté

Le chlore peut réagir avec un certain nombre de substance. De l'eau non traiter peut avoir de différente quantité d'impureté qui réagisse avec le chlore, ayant comme conséquence une demande plus grande en chlore. Plus de chlore devra être ajouté. Voici quelques impuretés importantes qui peuvent exister dans l'eau : du fer dissout, sulfure d'oxygène, brome, ammoniacque, dioxyde d'azote et des matériaux organiques. Dans certains cas, la réaction du chlore avec les impuretés augmentera la qualité de l'eau, alors que d'autres cas créeront des matières nocives pour la santé. Le chlore réagira d'abord avec les impuretés inorganiques (fer dissout, brome, ammoniacque) avant de réagir avec les composés organiques (matériel organique, bactérie, virus).

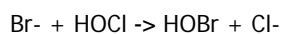
Le fer donnera à l'eau un goût métallique indésirable. En réagissant avec l'acide hypochlorite, le fer dissout aura un état soluble et insoluble (comme la formation d'un précipité). Le précipité de fer peut être enlevé avec un procédé de filtration durant le traitement de l'eau.



L'acide hypochloreux peut également réagir avec du sulfure d'hydrogène (H₂S), s'il est présent dans l'eau traitée. Il est une impureté indésirable car il donne une odeur désagréable à l'eau. À un niveau en dessous de 1mg/L le sulfure d'hydrogène produit une odeur de moisi, alors qu'au niveau au-dessus de 1mg/L il y aura une odeur d'œufs. Le sulfure d'hydrogène est toxique.



Le brome dans l'eau peut déclencher la production de composé peu désiré. Les ions de brome peuvent réagir avec l'acide hypochloreux et former l'acide hypobrome. L'acide hypobrome a des propriétés désinfectantes plus réactives que l'acide hypochloreux. L'acide hypochloreux et l'acide hypobrome réagira avec les matières organiques dans l'eau et créera des sous-produits halogénés, tel que le trihalomethane.



L'ammoniaque est un composé qui peut exister dans l'eau. Elle est un élément de la vie aquatique, mais toxique sous de forte concentration. L'ammoniaque est produite lors de décomposition et existe donc naturellement dans l'eau. Cependant, l'activité humaine produit beaucoup d'ammoniaque dans l'eau. Voici quelques sources d'activités humaines produisant de l'ammoniaque : usines municipales de traitement des eaux, activités agricoles, activités industrielles (moulin à papier), les mines, le traitement des produits alimentaires et la production d'engrais. Les réactions entre l'ammoniaque et le chlore causent des monochloramines, dichloramines et trichloramines qui sont collectivement connu sous le nom de chloramines. Les chloramines ne sont pas aussi efficace dans l'eau que le chlore, même s'ils durent plus longtemps.

Le chlore réagit également avec des phénols (monochlorophénol, dichlorophénol et trichlorophénol) qui ont un goût et une odeur désagréables à des niveaux bas. À des niveaux plus élevés, les chlorophénols sont toxiques et affectent le procédé de respiration et de stockage d'énergie. Ce sont des composés principalement synthétiques, mais peuvent être trouvés naturellement dans des déchets d'animaux ou dans des matières organiques en décomposition.

Le chlore est-il toxique pour l'humain?

Le chlore peut être toxique pour les micro-organismes et les humains. Pour l'humain, le chlore est un irritant pour les yeux et le système respiratoire. Le gaz-chlore doit être manipulé minutieusement car il peut provoquer des problèmes graves. Cependant, le gaz-chlore est la forme de traitement la moins dispendieuse elle est donc un choix attrayant malgré les dangers qu'il représente.

Dans l'eau potable, la concentration en chlore est habituellement très basse et n'est pas un souci pour la santé. Le risque est à long terme, comme le cancer dû à l'exposition prolongée à de l'eau traitée au chlore. C'est principalement dû aux trialomethanes et à d'autres sous-produits de désinfection. Les trialomethanes sont cancérigènes et peuvent causer également des cancers rectaux. Santé Canada affirme que ce n'est pas assez pour justifier la discontinuation. En Europe, cependant, la chloration a été discontinuée dans beaucoup de communautés.

Les sous-produits de la chloration

Un certain nombre de différents sous-produits peuvent être produits lors de la désinfection. Il y a des composés indésirables qui peuvent être produit lors de la réaction entre le chlore et les matières organiques. La plupart des composés qui causent un important souci en ce moment sont les trialomethanes et l'acide haloacétique. Un plus grand niveau de trialomethane a été trouvé en eau de surface et en eau souterraine.

Les trialomethanes sont associés à plusieurs types de cancer. L'exposition chronique peut endommager le foie et les reins. Voici d'autres sous-produits de désinfection nocifs : l'acide trichloracétique, l'acide dichloracétique et le chlorophénol. L'acide trichloracétique est produit pour l'usage courant, comme dans les herbicides et dans l'eau potable. Ce produit chimique n'est pas considéré cancérigène pour les humains. L'acide dichloracétique est un irritant corrosif et destructeur (détruit les muqueuses) et il n'est pas classifié comme cancérigène. Le chlorophénol peut causer un problème de goût et d'odeur, ils sont toxiques et affectent le procédé de respiration et de stockage d'énergie dans le corps.

Conclusion

La chloration est une méthode très populaire de désinfection de l'eau. Elle est efficace pour les bactéries et les virus, mais pour quelques types de microbes pathogènes. Il y a un souci au niveau d'un sous-produit de désinfection le trialomethane, qui est cancérigène, beaucoup de communautés sont devenus réticentes face à ce produit.

Bien que la chloration ait quelques inconvénients, elle reste la méthode la plus populaire, la plus sûre, et la plus rentable.