

EXAMEN DES PRINCIPES, DES TECHNIQUES ET DES PROCÉDÉS DE **chloration et de déchloration** DES EFFLUENTS D'EAUX USÉES MUNICIPALES

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Les eaux usées municipales renferment des microorganismes pathogènes, en l'occurrence des bactéries, des virus et des protozoaires. Le rejet sans danger de ces eaux usées dans le plan d'eau récepteur constitue sans doute la fonction la plus importante de l'usine de traitement, car on s'attend à ce que l'eau du milieu récepteur ne présente aucun danger pour les humains et les organismes aquatiques. Le défaut de faire preuve de diligence raisonnable dans le traitement et la désinfection des eaux usées peut entraîner la propagation de maladies d'origine hydrique et occasionner ainsi d'importants risques pour la santé.

La contamination des sources d'alimentation en eau potable et des eaux utilisées à des fins récréatives, de même que la consommation de coquillages dans lesquels il peut y avoir concentration des pathogènes, sont tous des facteurs qui contribuent au risque de maladies d'origine hydrique. En conditions normales, les phénomènes de décomposition, de prédation et de dilution exercent un contrôle naturel sur les pathogènes d'origine hydrique; cependant, lorsque ces microorganismes atteignent des concentrations élevées, il devient essentiel que les eaux usées soient traitées en usine, c'est-à-dire qu'elles soient désinfectées avant d'être rejetées.

Depuis le début du XX^e siècle, la désinfection des eaux usées municipales repose généralement sur l'utilisation d'une forme quelconque de chlore. La chloration – c'est ainsi qu'on désigne cette méthode de désinfection – a souvent été choisie en raison de son coût relativement faible, de la vaste gamme de désinfectants chimiques chlorés disponibles et de l'efficacité de cette méthode pour détruire les pathogènes ciblés.

Cependant, en dépit de ses nombreux avantages, la chloration comporte aussi certains risques qui suscitent des inquiétudes depuis quelques années. On s'inquiète tout particulièrement de la toxicité du chlore résiduel – même présent en très faibles concentrations – pour le poisson et les autres organismes aquatiques, notamment en vertu du paragraphe 36(3) de la *Loi sur les pêches* (c.-à-d. la clause interdisant le rejet de « substances nocives »). S'ajoutent à cela les inquiétudes liées à la sécurité des opérateurs lors de l'utilisation de certaines méthodes de chloration. Toutes ces préoccupations ont eu pour effet de raviver l'intérêt porté aux procédés de désinfection et d'intensifier les efforts en vue d'améliorer les techniques et le matériel utilisés à cette fin.

De fait, diverses mesures ont été adoptées en vue de pallier les problèmes causés par le chlore résiduel, notamment en limitant l'ajout de chlore et en utilisant des agents de déchloration après que le temps de contact avec le chlore a été écoulé, mais ces mesures ont obtenu un succès mitigé. Au fil des ans, des améliorations sensibles ont aussi été apportées au matériel de chloration et de déchloration, ainsi qu'aux méthodes d'analyse et au matériel de contrôle.

Cependant, malgré l'amélioration des techniques de chloration et de déchloration, Environnement Canada, Pêches et Océans Canada et le ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air de la Colombie-Britannique sont conscients que des problèmes persistent. Ainsi, bon nombre des systèmes de chloration et de déchloration actuellement en usage n'ont pas été conçus, ou ne sont pas exploités, d'une manière qui permette d'atteindre régulièrement les objectifs fixés en ce qui a trait à la teneur en pathogènes ou en chlore résiduel dans les effluents. Dans bien des cas, et plus particulièrement dans les usines de traitement plus petites, l'équipement de chloration et de déchloration est automatisé et complexe, et les opérateurs n'ont souvent pas les compétences requises pour exploiter cet équipement et en assurer l'entretien. De plus, les variations du débit et de la demande en chlore, les procédures d'analyse imprécises et le mauvais entretien des installations font qu'il est difficile d'assurer une exploitation adéquate des systèmes de chloration et de déchloration. C'est pourquoi Environnement Canada et Pêches et Océans Canada préconisent l'utilisation de procédés de désinfection sans chlore, comme l'irradiation à l'ultraviolet (UV).

Même si l'adoption d'autres procédés de désinfection, comme le rayonnement UV, est possible, il n'en demeure pas moins que pour bon nombre de propriétaires ou opérateurs d'usines de traitement des eaux usées, la chloration offre plusieurs avantages qui sont liés notamment à ses coûts d'immobilisations et d'exploitation relativement peu élevés, à sa fiabilité, au peu d'entretien qu'exige ce procédé et à son caractère « éprouvé ». En Colombie-Britannique, plus de 40 usines de traitement des eaux usées municipales ont actuellement recours au procédé de chloration, et plus de 20 d'entre elles utilisent également un procédé de déchloration. Et même si l'on cherche à dissuader les nouvelles usines d'utiliser des systèmes de chloration et de déchloration, il faudra sans doute quelque temps avant que les usines existantes qui ont recours à la chloration, ou au procédé mixte de chloration et de déchloration, adoptent un autre procédé de désinfection.

Dans les cas où il doit y avoir désinfection et où le chlore est utilisé à cette fin, le règlement prévoit que la teneur en chlore résiduel ne doit pas dépasser 0,01 mg/L (10 :g/L) (*Waste Management Act, Municipal Sewage Regulation (MSR)* de 1999, Partie 8 : Désinfection des effluents). Le respect de cette exigence est un des objectifs de l'Initiative de l'écosystème du bassin de Georgia (IEBG).

L'écosystème du bassin de Georgia s'étend jusqu'à Pemberton au nord, à l'est jusqu'à Boston Bar, Yale et Hope et, vers le sud, au-delà de la frontière américaine. L'IEBG prévoit l'élaboration et la mise en œuvre de programmes de gestion des déchets liquides qui ont pour but de freiner la pollution, et même de renverser cette tendance, et donc de réduire au minimum les risques pour la santé dans cette région. Cependant, un grand nombre d'usines de traitement qui rejettent leurs effluents dans le bassin de Georgia utilisent le chlore pour protéger le public contre les pathogènes d'origine hydrique, concentrés dans les effluents des eaux usées. Or ce même chlore pose des risques potentiels pour le biote aquatique, également présent dans cet écosystème.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, un des objectifs ultimes de l'IEBG est de freiner la pollution et même de renverser la tendance, afin de réduire au minimum les risques pour la santé publique dans le bassin de Georgia. Le contrôle optimal du chlore en vue de protéger le public et le contrôle optimal du chlore résiduel pour protéger les organismes aquatiques cadrent donc tout à fait avec l'objectif de l'IEBG.

Comme le chlore et ses résidus sont toxiques pour le poisson et d'autres organismes aquatiques et qu'il est probable que les procédés actuels de chloration et de déchloration ne disparaîtront pas du jour au lendemain, il s'imposait de procéder à un examen des principes, des techniques et des procédés de chloration et de déchloration. C'est à cette fin que fut rédigé le présent rapport, qui propose un examen exhaustif des procédés les plus avancés en matière de désinfection au chlore et de contrôle du chlore résiduel, ainsi que des agents chimiques et des procédés de déchloration et de l'équipement de chloration et de déchloration connexe, utilisé pour le traitement des eaux usées.

2 AGENTS CHIMIQUES DE CHLORATION ET DE DÉCHLORATION

Ce rapport présente un résumé des principes théoriques de chloration et de déchloration et il documente un large éventail d'agents chimiques de chloration et de déchloration, offerts sur le marché. On y présente également les résultats d'une enquête réalisée auprès d'usines de traitement de la Colombie-Britannique, qui révèle que les produits chimiques utilisés pour la chloration et la déchloration des effluents de ces usines varient en fonction de la taille de l'usine et de critères liés à la sécurité des opérations. Ainsi, les usines de traitement plus grosses, qui disposent de personnel plus qualifié et de plus de ressources, privilégient le chlore gazeux (Cl_2) pour la chloration et le dioxyde de soufre (SO_2) pour la déchloration, en raison du coût moins élevé de ces composés chimiques offerts en vrac et de leur vitesse de réaction. Les procédés utilisant ces gaz exigent toutefois un équipement dont le coût est généralement considéré prohibitif pour les petites usines de traitement. De plus, les problèmes de sécurité associés à l'entreposage et à la manipulation de ces gaz sous pression ont forcé certaines grandes installations à en cesser l'utilisation; la complexité des systèmes d'entreposage et de

dosage des gaz exige en effet des opérateurs hautement qualifiés et plus expérimentés. C'est ce qui explique que les usines de traitement plus petites optent de préférence pour l'hypochlorite de sodium ou l'hypochlorite de calcium comme agent de désinfection et pour le sulfite, le thiosulfate, le bisulfite ou le métabisulfite de sodium pour la déchloration, car ces produits sont faciles à manipuler et qu'ils comportent relativement peu de risques. Enfin, bien que l'hypochlorite de calcium coûte en général de 1,5 à deux fois plus cher que l'hypochlorite de sodium liquide, certains petits utilisateurs préfèrent l'utiliser, car ce produit exige moins sur le plan des infrastructures de transport, de stockage et de manipulation, en particulier dans le cas des systèmes plus récents qui utilisent l'hypochlorite de calcium sous forme de « pastilles ».

Il est difficile de mesurer avec précision les résidus de chlore et de sulfites qui sont présents en très faibles quantités. Les opérateurs des usines qui utilisent ces produits pourraient donc envisager de les remplacer par des agents de déchloration (comme l'acide ascorbique ou le peroxyde d'hydrogène) qui auraient peu, ou pas, d'incidences sur le milieu récepteur, advenant un déversement ou un surdosage. Il convient toutefois de noter que le peroxyde d'hydrogène réagit très lentement avec le chlore combiné et qu'il ne permettrait peut-être pas de satisfaire aux exigences techniques, c.-à-d. qu'il nécessiterait peut-être un temps de contact plus long que ce qui est normalement possible. L'acide ascorbique, pour sa part, est très cher en comparaison des autres agents de déchloration. Des questions de sécurité et de protection de l'environnement pourraient malgré tout en justifier l'utilisation.

Quelle que soit la taille de l'usine de traitement, les systèmes de dosage des agents chimiques de chloration et de déchloration doivent être conçus de manière à éviter que tout déversement de produits chimiques toxiques ne pénètre dans l'environnement. Des enceintes de confinement secondaire et des dispositifs de retenue des déversements devraient donc être prévus dans chaque cas. Il faudrait en outre envisager l'emploi de produits chimiques qui comportent peu de risque pour le milieu environnant.

3 ANALYSES DES RÉSIDUS DE CHLORE ET DE SULFITES

Bien que le dosage du chlore résiduel dans les eaux usées s'appuie essentiellement sur les mêmes méthodes que celles utilisées pour l'eau potable, les concentrations plus élevées de matières dissoutes et en suspension dans les eaux usées créent davantage d'interférences. Par contre, la concentration cible établie pour le chlore résiduel total dans les eaux usées – c.-à-d. moins de 10 µg/L (0,01 mg/L) – est beaucoup plus élevée que le seuil établi pour l'eau potable. Ces concentrations se situent dans les limites de détection actuelles des procédés de dosage et de mesure.

Afin de pouvoir surveiller et contrôler adéquatement les procédés de chloration et de déchloration, les opérateurs ont besoin de techniques simples et précises pour mesurer les taux de résidus de chlore et de sulfites. Il existe dans le commerce plusieurs

trousses d'analyse sur le terrain qui reproduisent les méthodes d'analyse en laboratoire; mentionnons entre autres les trousses utilisant la méthode à la diéthyl-*p*-phénylènediamine (DPD) et les dosages ampérométrique et iodométrique. Chaque méthode et trousse d'analyse sur le terrain qui y correspond présentent des avantages et des inconvénients particuliers, sur le plan de l'exactitude, de la précision (reproductibilité), des interférences, de leur facilité d'utilisation et de leur applicabilité aux usines de traitement des eaux usées municipales.

Le dosage du chlore libre disponible par la syringaldazine (test FACTS) est un test simple et précis qui permet de mesurer le chlore libre disponible; il n'est toutefois pas offert en trousse d'analyse sur le terrain. De plus, comme ce test se limite au dosage du chlore libre, il n'est guère utile pour l'analyse des eaux usées dans lesquelles le chlore est essentiellement sous forme combinée. Pour sa part, le dosage du chlore par l'orthotolidine fut à une époque très répandu, mais cette méthode a depuis été abandonnée en faveur d'autres techniques. Quant au procédé iodométrique, il ne peut être utilisé que pour l'analyse de solutions très concentrées en chlore (hypochlorite); il ne convient donc pas à la mesure de taux de chlore résiduel inférieurs à 1 mg/L.

Le titrage ampérométrique s'est avéré la méthode de dosage du chlore résiduel la plus précise. Ce procédé manuel en différé exige toutefois un haut niveau de formation et de compétences pour obtenir le degré de précision recherché. Il existe également des instruments d'analyse portatifs, basés sur le procédé de titrage ampérométrique, qui peuvent servir à l'analyse d'échantillons instantanés prélevés de grandes et petites usines. Les opérateurs doivent toutefois posséder les compétences et la formation nécessaires à l'utilisation de ces appareils. De fait, nombreuses sont les usines de traitement de la Colombie-Britannique qui ont déjà utilisé des appareils de titrage ampérométrique, mais qui les ont depuis délaissés au profit d'autres méthodes – plus faciles mais moins précises – pour le dosage du chlore résiduel. Cette situation pourrait cependant changer avec la mise sur le marché de petits dispositifs de titrage ampérométrique automatisés qui devraient convenir à de petites usines.

Le test colorimétrique à la DPD s'est quant à lui révélé le test sur le terrain le plus simple et le plus polyvalent, actuellement offert sur le marché pour le dosage du chlore résiduel. Cette trousse permet de réaliser des tests très simples, à l'aide d'un comparateur de couleurs à main, ou des tests complexes avec spectrophotomètres. Dans un cas comme dans l'autre, l'opérateur doit prendre soin de réduire au minimum les interférences et les faux positifs, notamment en présence de chloramines organiques. Par ailleurs, bien que le test DPD soit relativement précis, il ne l'est qu'à des concentrations comprises entre 30 et 50 µg/L de chlore résiduel. Or comme l'objectif prévu dans la partie 8 (désinfection des effluents) du *Municipal Sewage Regulation (Waste Management Act* - voir l'annexe A) de la Colombie-Britannique est une concentration de chlore résiduel de

10 µg/L, on ne peut présumer que la concentration seuil prescrite pourra être atteinte avec le test DPD.

Les concentrations minimales prescrites de chlore dans les rejets d'effluents des eaux usées municipales correspondent aux limites de détection des appareils de dosage et de contrôle des produits chimiques. Bien que certaines données publiées indiquent que des appareils peuvent mesurer des résidus de chlore présents en des concentrations d'à peine 1 µg/L, une méthode de contrôle appliquée à de tels niveaux est peu pratique. Le dosage et la mesure de faibles taux de résidus de sulfites ou de sulfates offrent un moyen de déchloration plus pratique, car la présence d'une faible quantité de sulfites ou de sulfates indique que le chlore a été neutralisé. Les doseurs actuels de produits chimiques permettent de satisfaire largement aux limites de détection et aux mesures de contrôle prévues pour respecter les normes en matière de rejets.

Notons enfin que l'envoi d'un échantillon instantané d'effluent d'eaux usées à un laboratoire extérieur, en vue d'obtenir un dosage plus précis, n'est pas une solution acceptable, car le chlore résiduel se sera complètement dissipé, entre le prélèvement de l'échantillon et son analyse en laboratoire.

4 DOSAGE EN CONTINU DU CHLORE RÉSIDUEL

Le dosage en continu des résidus de chlore dans les eaux usées fait appel à des techniques qui ont été mises au point pour la mesure en direct du chlore résiduel dans l'eau potable. Cependant, bon nombre des dispositifs offerts sur le marché pour le dosage du chlore résiduel ne conviennent pas à l'analyse des eaux usées – quoiqu'en disent leurs fabricants – car la plupart ne sont conçus que pour des traitements tertiaires de haute qualité. L'application de cette technologie exige en outre des précautions et, dans la mesure du possible, une étude pilote à long terme devrait être réalisée. Enfin, dans tous les cas de surveillance en continu, il est important d'assurer un nettoyage et un rinçage continus des lignes d'échantillonnage, entre le point d'échantillonnage et la cellule de dosage, afin d'obtenir des résultats exacts.

Dans le cas des usines de traitement qui utilisent des procédés tertiaires ou des procédés secondaires produisant un effluent de haute qualité, les analyseurs à membrane sont ceux qui allient la plus grande précision et facilité d'utilisation, pour le dosage en continu des résidus de chlore. Cependant, ces appareils deviennent rapidement encrassés par des composants biologiques et chimiques, s'ils sont utilisés sur des effluents de moindre qualité. Enfin, dans les usines utilisant des procédés de nitrification, toute fluctuation des taux d'azote faussera considérablement le dosage du chlore résiduel.

Les analyseurs en phase gazeuse et les analyseurs du potentiel d'oxydo-réduction conviennent aux effluents qui ont subi un traitement primaire ou un traitement

secondaire de moindre qualité. Ils ont donné de bons résultats sur des effluents à teneur élevée en matières solides.

Enfin, les analyseurs à électrode nue, les analyseurs ampérométriques et les analyseurs en continu sont ceux qui donnent les résultats les plus exacts de la teneur en chlore résiduel, sous forme libre ou combinée. Les appareils munis de capteurs à trois sondes confèrent en outre une plus grande exactitude et stabilité, car ils sont conçus pour s'adapter aux interférences présentes dans le milieu; ces appareils sont en revanche plus difficiles à utiliser et ils exigent une participation maximale de l'opérateur.

5 ENQUÊTE SUR LES PROCÉDÉS ACTUELS

Comme les procédés de chloration et de déchloration varient dans l'ensemble de la province et du bassin de Georgia, il a fallu effectuer une enquête sur les procédés actuels de chloration et déchloration, pour pouvoir dresser un tableau complet de la situation actuelle. Afin de cerner les usines de traitement qui seraient incluses dans cette enquête, un examen a été fait de tous les permis de rejet qui ont été accordés à des usines de traitement des eaux usées de la Colombie-Britannique, pour déterminer lesquelles étaient tenues, en vertu de leur permis, d'utiliser un procédé de désinfection. D'autres renseignements ont été extraits du rapport EC/GB-99-022 produit dans le cadre de l'Initiative sur l'écosystème du bassin de Georgia (IEBG), à partir des données du ministère de la Protection de l'eau, des terres et de l'air de la province. Comme les usines traitant moins de 10 m³/jour ont été exclues de l'IEBG, il en fut de même pour la présente étude, laquelle a par contre intégré des données sur des installations connues de la Colombie-Britannique, situées en dehors du bassin de Georgia, afin de constituer une base de données qui soit la plus vaste possible aux fins de la vérification de l'équipement. Au total, 56 usines ont été incluses dans l'enquête, dont 44 situées à l'intérieur, et 12 à l'extérieur, du bassin de Georgia.

En Colombie-Britannique, les produits chimiques utilisés pour la chloration et la déchloration ont tendance à être choisis en fonction des économies d'échelle qui peuvent être réalisées, ainsi que du niveau de formation et d'attestation exigé des opérateurs d'après la taille de l'usine. Ainsi, le chlore gazeux (désinfection) et le dioxyde de soufre (déchloration) sont les produits chimiques de choix des usines de traitement d'une capacité variant de moyenne à grande, qui utilisent la chloration comme procédé de désinfection. Pour leur part, les usines plus petites ont tendance à privilégier l'hypochlorite de sodium (désinfection) et les sulfates ou sulfites liquides (déchloration). Cependant, un grand nombre d'opérateurs cherchent à remplacer le chlore gazeux par l'hypochlorite de sodium (grandes usines), ou l'hypochlorite de sodium par l'hypochlorite de calcium en « pastilles » (petites usines), à cause des risques associés au chlore gazeux et du fait que la précision des systèmes utilisant l'hypochlorite de calcium a été améliorée. Le choix est par contre plus difficile dans le cas de la déchloration. Ainsi, les petites usines peuvent avoir recours à des produits chimiques, comme l'acide

ascorbique, qui ont peu, ou pas, d'incidences sur l'environnement, même en doses excessives. Quant aux grandes usines, on ignore si celles qui ont décidé de remplacer le chlore gazeux remplaceront également le dioxyde de soufre comme agent de déchloration. Quelle que soit leur décision, elles ont le choix entre plusieurs méthodes de déchloration sans gaz.

De toutes les méthodes les plus courantes de dosage du chlore résiduel, le titrage ampérométrique est le plus précis. Cependant, comme cette méthode exige un haut niveau de formation et de compétences des opérateurs pour être précise, d'autres méthodes – dont l'analyse colorimétrique à la DPD – se sont répandues en Colombie-Britannique. De fait, la simplicité et la précision relative du test DPD laissent généralement entrevoir que ce test sera utilisé régulièrement; sa limite de détection fait toutefois en sorte qu'il est impossible de confirmer que la teneur en chlore résiduel respecte le seuil (10 µg/L) prévu dans le *Municipal Sewage Regulation (BC MSR)* de 1999. Un grand nombre d'opérateurs de la province tentent habituellement de pallier ce problème en augmentant légèrement les doses d'agents de déchloration, puisque les résidus de ces agents ne sont pas aussi nocifs que les résidus de chlore présents en des quantités supérieures à 10 ppb. Les nouveaux appareils de dosage ampérométrique informatisés allieront la précision des appareils ampérométriques et la facilité d'utilisation des tests DPD. Ces appareils ne peuvent pour l'instant servir qu'au dosage du chlore, mais ils pourront être appliqués au dosage des sulfites et des sulfates, d'ici le début de 2003. L'utilisation de ces appareils devrait permettre aux usines de traitement – petites et grandes – de surveiller et de contrôler avec plus de précision les effluents rejetés.

Les appareils de surveillance en continu du chlore résiduel sont peu utilisés en Colombie-Britannique, car ils ne sont fiables que dans les usines qui utilisent des procédés de traitement tertiaire. Or comme très peu d'usines de traitement des eaux usées de la province produisent un effluent de cette qualité, la plupart des systèmes de chloration sont réglés sur le débit, plutôt qu'en fonction de la concentration de chlore résiduel. Quelques usines (trois) ont recours à un système de rétroaction basé à la fois sur le débit et la teneur en chlore résiduel. Il est en outre très fréquent que les appareils de déchloration soient réglés à la même vitesse que le système de chloration, de manière à ce qu'il y ait ajout en tout temps d'un léger excédent d'agents de déchloration. On s'attend à ce que cette tendance se poursuive.

En Colombie-Britannique, le test à la DPD est la principale méthode utilisée pour le dosage, ou la confirmation, de la teneur en chlore résiduel, même si cette méthode n'est pas suffisamment précise pour détecter des taux qui correspondent à la concentration seuil (10 µg/L) prévue dans le MSR. La majorité des tests à la DPD sont des tests colorimétriques, réalisés à l'aide d'un spectrophotomètre. Cette tendance pourrait

toutefois changer lorsque des analyseurs ampérométriques informatisés des résidus de chlore et de sulfites seront installés dans les usines.

6 RÉSUMÉ

Voici les principales conclusions qui ressortent de l'analyse :

- La chloration des effluents d'eaux usées en Colombie-Britannique se poursuivra pendant quelque temps encore.
- La tendance en matière de chloration et déchloration, dans la province, favorisera l'utilisation de substances chimiques plus faciles à utiliser et plus sûres à manipuler, en dépit de leurs coûts plus élevés.
- Bien que le titrage ampérométrique soit la méthode la plus précise pour le dosage des résidus de chlore et de sulfites, ce procédé exige du temps et des compétences qui dépassent souvent les ressources de l'usine de traitement.
- Le test à la DPD, pour le dosage manuel du chlore résiduel, est facile à utiliser, mais il n'est pas suffisamment précis pour détecter des concentrations de l'ordre de 10 µg/L.
- Les opérateurs ont tendance à légèrement surdoser les agents chimiques de déchloration pour s'assurer que la teneur en chlore résiduel est nulle.
- De nouveaux systèmes informatisés de titrage ampérométrique pourraient faciliter le dosage du chlore résiduel présent en faibles concentrations.
- Le choix du système de surveillance en continu des résidus dépend de la qualité de l'effluent.