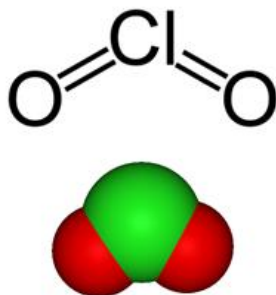


Introduction

Lorsqu'on aborde la question de la désinfection de l'eau, l'utilisation du chlore (hypochlorite) est généralement l'un des premiers sujets évoqués. Cependant, le dioxyde de chlore, loin d'être une simple alternative au chlore, peut s'avérer plus adapté ou plus efficace pour de nombreux secteurs et applications. Cette étude technique examine les propriétés et les utilisations du dioxyde de chlore, ainsi que les méthodes employées pour mesurer et contrôler sa concentration dans l'eau.

Qu'est-ce que le dioxyde de chlore ?

Le dioxyde de chlore est un composé de formule ClO_2 . Il se présente sous la forme d'un gaz vert jaunâtre et ne s'hydrolyse pas dans l'eau, conservant sa structure en tant que gaz dissous dans la solution. Oxydant puissant, il a été proposé pour la première fois comme agent stérilisant dès 1900, mais a été



Il n'a été utilisé à l'échelle industrielle qu'à partir de 1944¹.

Les propriétés oxydantes du dioxyde de chlore le rendent utile pour la désinfection, et il présente plusieurs avantages par rapport au chlore, plus traditionnel. Par exemple, il est plus efficace contre certains agents pathogènes spécifiques tels que la légionelle² ou Giardia³.

Utilisé correctement, le dioxyde de chlore produit moins de sous-produits nocifs que le chlore, et son pouvoir désinfectant n'est pas influencé par le pH. Ses propriétés chimiques lui confèrent un bon rapport coût-efficacité, car il nécessite des concentrations plus faibles que les autres désinfectants.

Les utilisations du dioxyde de chlore

Bien que, historiquement, le dioxyde de chlore ait été considéré comme dangereux à manipuler (et, sous ses formes concentrées et gazeuses, il peut effectivement l'être), les technologies modernes de production sur site permettent de l'utiliser avec plus de confiance et de sécurité que jamais ; de ce fait, le dioxyde de chlore a trouvé sa place dans de nombreuses applications :

- **Désinfection de l'eau** (eaux usées, procédés industriels, tours de refroidissement, denrées alimentaires, etc.)
- **Blanchiment de la pâte à papier et du papier**
- **Élimination des biofilms** grâce à sa capacité à pénétrer les couches de polysaccharides des capsules bactériennes
- **Oxydation du fer et du manganèse solubles**, facilitant ainsi leur élimination



À l'instar de tous les procédés de désinfection mis en œuvre à l'échelle industrielle, la nécessité de trouver un équilibre entre une désinfection efficace et la rentabilité impose le recours à des méthodes précises et fiables de mesure du dioxyde de chlore dans l'eau.

Plusieurs méthodes ont été mises au point à cette fin, reposant sur divers principes. Parmi celles-ci, on peut citer :

- **Le titrage iodométrique**
- **La spectrophotométrie**
- **La colorimétrie**
- **L'ampérométrie à membrane**
- **Le titrage iodométrique**

Cette méthode repose sur l'oxydation par le ClO_2 des ions iodure en iode, qui peut ensuite être titré avec du thiosulfate de sodium. Quelques calculs relativement simples permettent alors de déterminer la concentration en dioxyde de chlore.

Avantages :

L'ajustement du pH permet à l'utilisateur de distinguer le Cl_2 (chlore), le ClO_2 (dioxyde de chlore), le ClO_2^- (chlorite) et le ClO_3^- (chlorate). Cela rend la méthode iodométrique idéale pour mesurer différentes formes de chlore.



Inconvénients :

- **Les titrages peuvent être difficiles et longs à réaliser**, et nécessitent un niveau de compétence technique plus élevé que les autres méthodes.
- **Le dioxyde de chlore, le chlorite et l'hypochlorite ne se distinguent pas facilement**, ce qui peut poser des problèmes dans certaines applications.
- **Des erreurs importantes peuvent survenir si plusieurs espèces sont présentes**.
- **Bien qu'elle soit disponible sous forme de kit de test, la méthode iodométrique n'a pas été adaptée à l'analyse en continu**.

Spectrophotométrie

Cette méthode repose sur la transmission de la lumière. Une longueur d'onde spécifique de lumière (environ 360 nm dans le cas du dioxyde de chlore) traverse une cuvette contenant l'échantillon, et la transmission/absorption est mesurée.

Plus la concentration en dioxyde de chlore est élevée, plus le niveau de transmission est faible ; c'est sur ce principe que repose la mesure.

Avantages :

- **Cette méthode est relativement exempte d'interférences** par rapport au titrage iodométrique.
- **Les spectrophotomètres sont faciles à utiliser**, et offrent un potentiel de grande précision.



Inconvénients :

- **La précision globale dépend du photomètre utilisé**, les modèles de haute qualité pouvant coûter plusieurs milliers de livres.
- **Il existe une interférence connue avec le chlorite**, qui peut entraîner une imprécision significative ⁵.
- **Il existe des spectrophotomètres en ligne**, mais ils ne sont pas conçus spécifiquement pour le dioxyde de chlore.

Colorimétrie

L'analyse colorimétrique repose sur la réaction entre le ClO_2 et un colorant, ainsi que sur la mesure de l'absorbance d'une longueur d'onde spécifique de la lumière une fois cette réaction effectuée.

Parmi les colorants pouvant être utilisés, on trouve la N,N-diéthyl-p-phénylènediamine (DPD), le rouge de chlorophénol (CPR) et le vert de lissamine (LGB). Chacun de ces colorants présente ses propres limites (par exemple, la couleur du DPD change avec le temps, le LGB dépend de la température), mais ils possèdent également leurs propres caractéristiques positives.

Avantages :

- La colorimétrie offre un potentiel de précision supérieur à celui de la spectrophotométrie lorsqu'elle est correctement réalisée ⁶. Ce type de tests est bien établi et familier à de nombreux techniciens et personnels de chantier.
- Des produits de colorimétrie en ligne sont facilement disponibles auprès de divers fabricants.

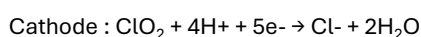
Inconvénients :

- La plage de fonctionnement du test est limitée par la concentration du colorant, ce qui impose des contraintes physico-chimiques aux possibilités offertes ⁷.
- **La pureté des colorants peut poser problème et entraîner des imprécisions** ; certaines études indiquent que la pureté d'un même colorant varie entre 45 % et 95 %.
- **Certains colorants ne sont pas bien adaptés aux mesures en temps réel en raison de leurs temps de réaction plus longs**.
- **Les colorimètres en ligne nécessitent un apport continu de réactifs**, ce qui peut s'avérer coûteux, et les obstructions dans les tuyaux sont assez fréquentes.



Capteurs ampérométriques à membrane (disponibles chez Pi)

Conçus spécifiquement pour la mesure en ligne, ces capteurs à électrodes utilisent un électrolyte spécialisé contenu dans un capuchon à membrane ; cette membrane permet au ClO_2 de se diffuser dans l'électrolyte, où les réactions suivantes se produisent au niveau des électrodes :



- **Anode** : $\text{Cl}^- + \text{Ag} \rightarrow \text{AgCl} + \text{e}^+$
- La libération d'électrons au niveau d'une électrode et leur captation par l'autre créent un flux de courant entre elles, ce qui constitue le principe de la mesure.

Avantages :

- **La membrane empêche les contaminants nocifs d'atteindre les électrodes**, les protégeant ainsi.
- **La dépendance vis-à-vis du débit est faible.**
- **L'électrolyte étant prédéfini, l'absence de dioxyde de chlore entraîne un courant nul** ; cela permet une méthode d'étalonnage en un point.
- **Aucun réactif ni aucune méthode d'analyse complexe n'est nécessaire**, ce qui se traduit par de faibles coûts d'exploitation sur toute la durée de vie du capteur.
- **Le fonctionnement continu rend ces capteurs idéaux pour la mesure en ligne.**

Inconvénients :

- **Les tensioactifs et les détergents peuvent altérer la membrane**, permettant à l'eau de pénétrer dans l'électrolyte et provoquant une dérive du signal.
- **Les substances hydrofuges telles que les huiles minérales peuvent obstruer les pores de la membrane**, empêchant ainsi le dioxyde de chlore de passer dans l'électrolyte, ce qui entraîne une erreur de mesure.
- **Une interférence due à l'ozone est connue.**

Comment Process Instruments aborde-t-elle

la mesure du dioxyde de chlore ?

Toutes les approches mentionnées présentent leurs propres avantages et inconvénients ; la « méthode idéale » dépend donc des besoins de l'utilisateur final.

En tant qu'entreprise spécialisée dans l'instrumentation et le contrôle du traitement de l'eau, Pi constate que le dioxyde de chlore est principalement utilisé dans des applications qui favorisent l'analyse en ligne en continu ; le choix naturel pour Process Instruments se porte donc sur les capteurs ampérométriques.

Les analyseurs ampérométriques DioSense de Pi pour le dioxyde de chlore permettent des mesures réactives et en temps réel du dioxyde de chlore, sans nécessiter l'entretien complexe ni les réactifs requis par les systèmes colorimétriques en ligne. Leur fonctionnement sans réactifs se traduit également par des coûts totaux de possession nettement inférieurs ; une grande entreprise de services publics britannique qui a remplacé 330 capteurs colorimétriques par des sondes ampérométriques a réalisé des économies de près d'un million de livres sur une période de dix ans. Les sondes ampérométriques à membrane ne nécessitent pas le contrôle strict du débit exigé par les systèmes sans membrane, ce qui peut s'avérer difficile dans certaines applications et certains secteurs d'activité. À condition que certaines conditions de base soient respectées (telles que l'absence de tensioactifs et de détergents dans le flux de process), les capteurs à membrane sont simples à installer, à étalonner et à entretenir.

Références

1. Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) : Bureau de l'eau, Manuel des désinfectants et oxydants alternatifs, chapitre 4 : Dioxyde de chlore (EPA, 1999)
2. Zhang, Z. ; McCann, C. ; Stout, J. ; Piesczynski, S. ; Hawks, R. ; Vidic, R. ; Yu, V. « Sécurité et efficacité du dioxyde de chlore pour la lutte contre la légionelle dans un réseau d'eau hospitalier » (2007). *Infection Control and Hospital Epidemiology*. **28** (8) : 1009–1012
3. Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) : Bureau de l'eau, Manuel des désinfectants et oxydants alternatifs, chapitre 4 : Dioxyde de chlore (EPA, 1999)
4. Körtvélyesi, Z. Méthodes analytiques pour la mesure du dioxyde de chlore et des espèces oxychlorées associées en solution aqueuse (Université de Miami, 2004)
5. Gordon G. & Körtvélyesi, Z. « Interférence de l'ion chlorite dans la mesure spectrophotométrique du dioxyde de chlore » (2004). *Journal (American Water Works Association)* **96** (9) : 81-87
6. Min Song et al. « Mesure du dioxyde de chlore dans l'eau par la méthode colorimétrique DPD » (2018) *IOP Conf. Ser. : Earth Environ. Sci.* **108** 042102
7. Körtvélyesi, Z. Méthodes analytiques pour la mesure du dioxyde de chlore et des espèces oxychlorées associées en solution aqueuse (Université de Miami, 2004)

Caractéristique	Entrepreneur	Travailleur indépendant	Employé à temps plein	Employé à temps partiel	Temporaire	Occasionnel
Sécurité d'emploi						Faible
Flexibilité des horaires		Élevée et dépendante du client		✓		Élevée
Évolution de carrière	✓	✓	✓			✓
Équilibre entre vie professionnelle et vie personnelle	✓	✓	✓	✓	✓	✓