

Professeur Nicolas ROCHE, Aix-Marseille Université
Coord. Pôle de Recherche Interdisciplinaire et Intersectoriel Environnement
Lab. Mécanique, Modélisation et Procédés Propres (M²P² - UMR 7340 CNRS)
Dépt. Génie Chimique, Génie des Procédés, IUT d'Aix-Marseille
Téléphone : 33 (0) 442 971 655
Télécopie : 33 (0) 491 289 407
e-mail : nicolas.roche@univ-amu.fr

RAPPORT D'EXPERTISE

Sur les performances de déchloration d'eaux de consommation du procédé « LAVIE® » mis au point par la Société SOLABLE

Préambule :

La SAS SOLABLE a mis au point un système de purification innovant (procédé LAVIE®) de l'eau du réseau.

Selon la société SOLABLE :

- Ce système, basé sur la radiation UVA, doit permettre de « casser » les molécules de chlore tout en transformant la bouteille en POA (Processus d'Oxydation Avancé, prouvé par l'abatement du bleu de méthylène en 15mn). Ce POA doit aussi permettre in fine de traiter profondément le gout et les odeurs, voire d'autres polluants dissous de l'ordre des pesticides ou traces de médicaments, sans filtre ou passage de l'eau dans un circuit secondaire.
- Ceci préserve totalement d'une pollution bactérienne telle qu'on peut la rencontrer dans les systèmes de type carafe filtrante, et permet de stocker l'eau purifiée dans des bouteilles en verre, qui entrent parfaitement dans les réfrigérateurs.
- L'absence d'utilisation de différents consommable (supports ou réactifs chimiques) est aussi un plus qui permet d'en disposer n'importe quand, sans aucune erreur de manipulation. Une sécurité (coupure de la lumière UVA à l'ouverture du coffret) permet même d'étendre l'usage aux enfants.

Ces nouveaux usages, en rupture notamment par rapport à l'usage de carafes filtrantes, amènent SOLABLE à demander une expertise scientifique sur les performances quantitatives de déchloration d'une eau potable et sur ses capacités qualitatives de décoloration d'une eau colorée au bleu de méthylène.

Ce produit étant destiné à purifier de l'eau potable, les essais ont été réalisés sur une eau du robinet puisée à Lambesc (13), dopée en chlore dans les limites de chloration autorisées en France : entre 0.2 et 0.4mg / litre.

Introduction :

Les eaux dites potables, doivent présenter un certain nombre de caractéristiques afin qu'elles puissent être destinées à une consommation humaine directe sans risques. Si les valeurs des différents critères suivis peuvent être différentes selon les pays, on peut néanmoins les classer en trois catégories principales :

- paramètres physico-chimiques (pH, COT, température, conductivité, nitrates, ammonium, chlorures, sulfates, ...)
- substances toxiques
- paramètres microbiologiques (agents pathogènes tels que les coliformes fécaux).

Pour la France on peut retrouver ces critères dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Afin de garantir la qualité de ces eaux des traitements sont appliquées sur les eaux prélevées, selon leurs origines (eaux de surface, nappes phréatiques, dessalement, pluviales, réutilisation) avant de pouvoir les distribuer en veillant qu'elles restent propres à la consommation humaine jusque sur leurs points d'utilisation.

Les paramètres physico-chimiques requis sont atteints pas la mise en place de procédés de traitements physico-chimiques et de séparation. La désinfection requiert la mise en place de solutions d'oxydation avancée telles que l'ozonation, la chloration et le traitement à la lumière UV. Quels que soient les procédés mis en place une étape de chloration est très fréquemment mise en place avant distribution afin d'assurer la qualité bactériologique de l'eau distribuée jusqu'à son point d'utilisation du fait du pouvoir rémanent du chlore.

Les procédés de chloration sont très fréquemment utilisés pour désinfecter les eaux en vue de leurs consommations (Santé Canada, 2009)*. Le chlore a un pouvoir oxydant fort permettant de tuer ou inactiver rapidement (temps de contact de l'ordre de 30 minutes) les micro-organismes contenus dans les eaux et il est généralement utilisé sous deux formes principales solide (pastille) ou liquide (eau de javel ou hypochlorite de sodium) selon sa grande échelle d'usages (collective ou individuelle). De plus le chlore présente une certaine stabilité dans l'eau lui conférant un pouvoir rémanent), il est donc important de pouvoir ajouter des doses suffisantes de chlore afin d'assurer la désinfection de l'eau d'une part et son pouvoir rémanent sur la temps de distribution d'autre part.

Les procédés de désinfection par chloration présentent de nombreux et réels avantages dans le sens où ils sont efficaces, rapides, peu coûteux, multi-échelles et relativement simples à mettre en place. Néanmoins ils présentent un certain nombre de désavantages qu'il est important de prendre en compte car ils peuvent avoir un effet sur la santé humaine. En effet un surdosage du chlore peut entraîner des réactions du chlore avec d'autres composés présents dans les eaux et notamment la matière organique (MO) pour former des produits couramment appelés « Sous-Produits de Chloration » (SPC) dont certains sont considérés comme nocifs sur

* Santé Canada (2009). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Le chlore. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario) (No de catalogue H128-1/09-588F).

la santé humaine. De nombreuses études (Mouly et al., 2008[†]) ont pu mettre en évidence les conditions de mise en place de telles réactions conduisant à la formation de SDC. Près de 600 SPC ont ainsi pu être identifiés parmi lesquels on peut retrouver des familles majoritaires telles que les trihalométhanes (THM) et les acides haloacétiques (HAA) qui représentent à elles deux entre 20 et 30 % de la masse totale des SPC. De plus des doses en chlore résiduel trop importantes peuvent donner un goût désagréable à l'eau de consommation

Il est donc important de pouvoir limiter et contrôler la production de ces SPC dans les chaînes de traitement mais aussi dans les circuits de distribution. Cela se fait essentiellement par un dosage approprié du chlore afin d'oxyder la matière organique et de limiter les concentrations en chlore résiduel en fin de traitement. Ce point est un point sensible pour les procédés de chloration et n'est pas toujours facile à mettre en place dans les systèmes de traitement notamment si la ressource présente des caractéristiques et des teneurs en MO variables dans le temps. De ce point de vue, l'OMS recommande une concentration en chlore libre de l'eau traitée distribuée comprise entre 0,2 et 0,5 mg/l.

Depuis quelques années des procédés de désinfection à la lumière UV ont été mis au point et commercialisés. Ils sont basés sur le principe que les rayons UVs ont un effet bactéricide important.

Le rayonnement ultraviolet (UV) est un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde d'émission est plus courte que celle de la lumière visible et plus longue que celle des rayons X. Ils représentent près de 5 % de l'énergie électromagnétique émise par le soleil et peuvent être produits par les lampes, dites lampes UV. Dans les rayons UV, on distingue classiquement trois catégories en fonction de leur longueur d'onde : les UVA (400-315 nm), les UVB (315-280 nm) et les UVC (280-100 nm). Il est à noter que du fait de l'absorption des rayons UVs par la couche d'ozone dans l'atmosphère la quasi-totalité (95%) de la lumière UV provenant du soleil et arrivant sur la terre sont de la catégorie des UVA.

Les rayons UVs ont des effets de modification de l'ADN des bactéries qui permet, selon le temps d'exposition, de les tuer ou de les inhiber et d'empêcher ainsi leur reproduction. Enfin, il est important de noter que les rayons UVs ont aussi des effets de destruction de certains composés chimiques, dits photosensibles, dans l'eau ou l'atmosphère. Ils peuvent donc ainsi participer à la photodégradation de certains polluants chimiques contenus dans les eaux et ce même à faible concentration.

Les procédés de désinfection par lampes UV sont relativement simples de conception car ils consistent à mettre en place dans un petit réacteur la lampe UV avec l'eau à traiter dans ce qui est communément appelé la chambre d'irradiation. Ces procédés sont aussi bien développés à l'échelle industrielle et collective qu'à l'échelle individuelle du fait notamment de leur simplicité d'usage. La littérature et les développements industriels de ces procédés sont

[†] Mouly D, Joulin E, Rosin C, Beaudeau P, Zeghnoun A et al. Les sous-produits de chloration dans l'eau destinée à la consommation humaine en France - Campagnes d'analyses dans quatre systèmes de distribution d'eau et modélisation de l'évolution des trihalométhanes. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, novembre 2008, 73 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr

nombreux et importants (Oppenheimer et al., 1997)[‡] mais ils reposent presque exclusivement sur l'utilisation de lampes à rayonnement UV de la catégorie UVC.

Pour ce qui concerne l'utilisation de lampes UVA (catégorie de rayonnement du procédé LAVIE® de la société SOLABLE) si à ma connaissance, il n'y a pas actuellement de développement industriel de ce type de lampes de traitement des eaux, des travaux ont néanmoins prouvés l'efficacité bactéricide des lampes à UVA (Hamamoto et al., 2007)[§].

Pour conclure sur les procédés de désinfection à lampes UV, ils présentent un grand nombre d'avantages. En effet, ils sont d'utilisation simple tout aussi bien à une échelle industrielle qu'à une échelle individuelle. Ils ne nécessitent pas l'usage de réactifs chimiques ou de supports particuliers et ne modifie pas en ce sens les propriétés physico-chimiques des eaux à traiter. Enfin si l'investissement initial sur ce type de procédé peut sembler supérieur par rapport à d'autres procédés telle que la chloration, son coût de fonctionnement reste très réduit avec des durées de vie importantes des lampes utilisées et le rend de fait compétitif de ce point de vue. Néanmoins il persiste quelques désavantages à l'utilisation de ces procédés. L'action bactéricide des procédés à lampes UV n'est pas rémanente, contrairement à la chloration, son usage doit donc être réalisé au plus près du point de consommation et d'usage. L'usage de ce type de procédé nécessite de plus d'avoir au préalable une eau de clarté suffisante afin de ne pas limiter la transmission des rayonnements UV dans l'eau. Enfin il est difficile d'apprécier de façon immédiate l'efficacité du traitement par la mesure d'un résiduel comme dans le cas de l'usage du chlore et d'optimiser l'efficacité de traitement de ces procédés dans le cas d'une ressource caractérisée par une variation temporelle de sa qualité (notamment bactériologique).

Matériels et méthodes :

Les expériences ont été réalisées, le 20 novembre 2017 sur le site de la société SOLABLE à LAMBESC (13) à partir d'une eau potable puisée dans les locaux de la société au moment des expérimentations. C'est une eau de dureté faible (12°F en moyenne) distribuée avec un taux de chlore libre faible, inférieur à 0,1 mg/l. C'est pour cela que pour les expérimentations sur la déchloration par le procédé LAVIE® nous avons dopé cette eau potable en chlore. Ce dopage a été réalisé sur un volume de 15 litres d'eau du réseau dans lequel nous avons ajouté 0,44 ml d'une solution d'Eau de Javel commerciale neuve à 3,6% nous donnant in fine une eau à une concentration en chlore libre mesurée de 1,04 mg Cl⁻/l. Cette solution « mère » a ensuite été diluée afin d'obtenir deux solutions respectivement à 0,41 et à 0,27 pour rester dans les limite préconisées par l'OMS. Ces solutions ont été préparées chacune juste avant le début des expérimentations. La société SOLABLE propose pour l'utilisation du procédé LAVIE® un temps d'exposition à la lumière UV de 20 minutes. Nous avons donc fait pour chaque eau étudiée deux essais respectivement à 15 minutes et 30 minutes d'exposition.

[‡] Joan A. Oppenheimer, Joseph G. Jacangelo, Jean-Michel Laine and John E. Hoagland, « Testing the Equivalency of Ultraviolet Light and Chlorine for Disinfection of Wastewater to Reclamation Standards », *Water Environment Research*, Vol. 69, No. 1 (Jan. - Feb., 1997), pp. 14-24

[§] A. Hamamoto, M. Mori, A. Takahashi, M. Nakano, N. Wakikawa, M. Akutagawa, T. Ikehara, Y. Nakaya1 and Y. Kinouchi, « New water disinfection system using UVA light-emitting diodes », *Journal of Applied Microbiology*, 103 (2007) 2291–2

Le procédé LAVIE® utilisé pour les essais est un prototype de dimensions commerciales équipé de deux rubans de lampes LED UVA (6 lampes par rubans, longueur d'onde d'émission : 365 nm, puissance consommée : 25.9 W, tension : 21.6 V , intensité : 1.2 A) pouvant accueillir une bouteille cylindrique d'un litre (diamètre : 80 mm, hauteur : 280 mm) en verre transparent (Borosilicate).

Le dosage du Chlore total a été réalisé sur place au début et à la fin de chaque expérimentation en utilisant un chlorimètre de marque HANNA HI 711 dont les caractéristiques sont données dans le tableau 1. Aussi afin de vérifier la qualité bactériologique des eaux avant et au cours des expérimentations et les taux de chlore finaux des échantillons de chaque expérimentation ont été prélevés et envoyés immédiatement au laboratoire SOSCA ANALYSES** (31120, l'Union) en respectant les préconisations de prélèvement, de conditionnement et d'envoi données par le laboratoire.

<i>Technical specifications</i>	
Range	0.00 to 3.50 ppm
Resolution	0.01 ppm
Accuracy	±0.03 ppm ±3% of reading @ 25 °C / 77 °F
Light Source	Light Emitting Diode @ 325 nm
Light Detector	Silicon Photocell
Method	Adaptation of USEPA method 330.5. The reaction between the chlorine and DPD reagent causes a pink tint in the sample.
Environment	0 to 50 °C (32 to 122 °F); max 95% RH non-condensing
Battery Type	1 x 1.5V AAA
Auto-Shut off	After 2 minutes of non-use
Dimensions	81.5 x 61 x 37.5 mm (3.2 x 2.4 x 1.5")
Weight	64 g (2.25 oz.)

Tableau 1 : Spécifications techniques du Chlorimètre HANNA HI 711

Résultats :

D'un point de vue général, l'ensemble des expérimentations effectuées n'a montré aucune variations sur la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau après des temps d'exposition de 15 ou 30 min dans le procédé LAVIE® de la société SOLABLE. On note en effet, sur les résultats fournis par le laboratoire SOCSA, aucune variation de la qualité bactériologique^{††} de l'eau ni de ces caractéristiques physico-chimiques^{‡‡}.

Suivi des capacités de déchloration du procédé LAVIE® :

Les résultats obtenus sur les expérimentations réalisées sur des eaux à respectivement des concentrations initiales en Chlore de 0,41 et 0,27 mg Chlore/l pour des temps d'exposition de 13 et 30 minutes sont présentés sur la figure 1.

** Certification COFRAC de SOSCA ANALYSES : Satisfait aux exigences de la norme NF EN ISO/CEI 17025 : 2005, et aux règles d'application du Cofrac pour les activités d'analyses/essais/étalonnages en : ENVIRONNEMENT / QUALITE DE L'EAUAGROALIMENTAIRE / DIVERS ALIMENTS - SANTE ANIMALE

†† Flore aérobies revivifiables à 22°C pendant 72H, flore aérobies revivifiables à 36°C pendant 24h, Coliformes totaux, Entérocoques, Escherichia Coli et Spores d'A.S.R

‡‡ pH (moyenne : 7,20 +/- 0,07), conductivité (moyenne : 399 +/- 4), turbidité, Chlore totaux, Ammonium, Fer et Nitrates (inférieurs au seuil de mesure)

Il apparait clairement une efficacité de déchloration du procédé LAVIE® supérieure à 90% dès 15 minutes d'exposition des solutions dopées en Chlore et ce dès 15 minutes d'expositions au rayonnement UVA. Les concentrations résiduelles en Chlore mesurées à 15 et 30 minutes sont dans le seuil de détection, à l'erreur de mesure près, de la méthode de dosage utilisée. Les analyses réalisées par le laboratoire SOSCA confirme l'absence de Chlore total et libre à 15 et 30 minutes pour tous les échantillons.

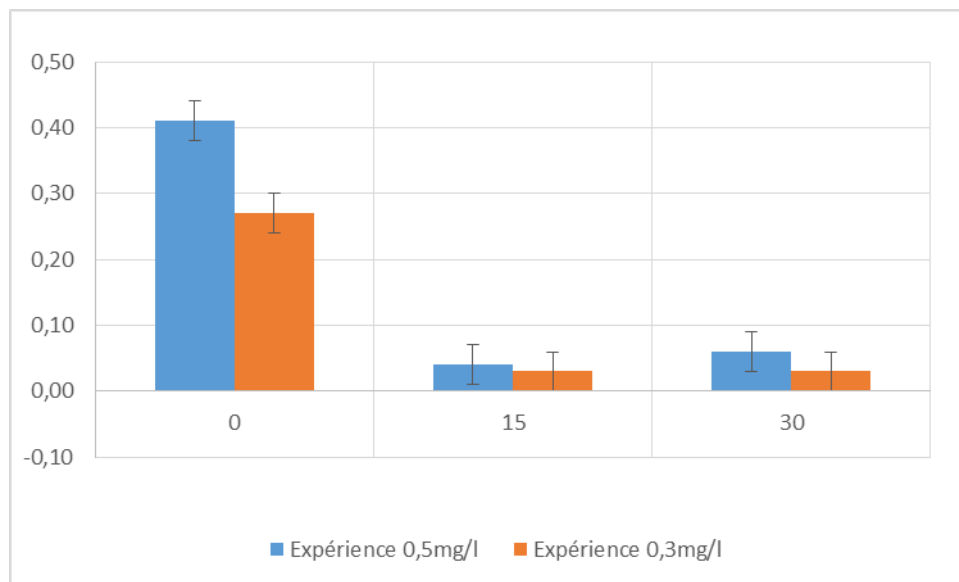


Figure 1 : Evolution de la concentration en chlore pour des temps d'exposition de 15 et 30 minutes pour une solution initiale à 0,41mg/l de Chlore (bleu) et une solution initiale à 0,27 mg/l de Chlore (orange).

Suivi des capacités de décoloration du procédé LAVIE® :

L'essai de décoloration des eaux par le procédé LAVIE® a été réalisé sur l'eau mère (dopée à 1,04mg/l de Chlore) préparée pour les tests de déchloration après ajout de 6 gouttes de solution de Bleu de Méthylène par litre d'eau. Cet ajout a été réalisée dans deux bouteilles identiques et une bouteille a ensuite était soumise au rayonnement UVA pendant 30 minutes, les observations réalisées sont présentée sur la figure 2

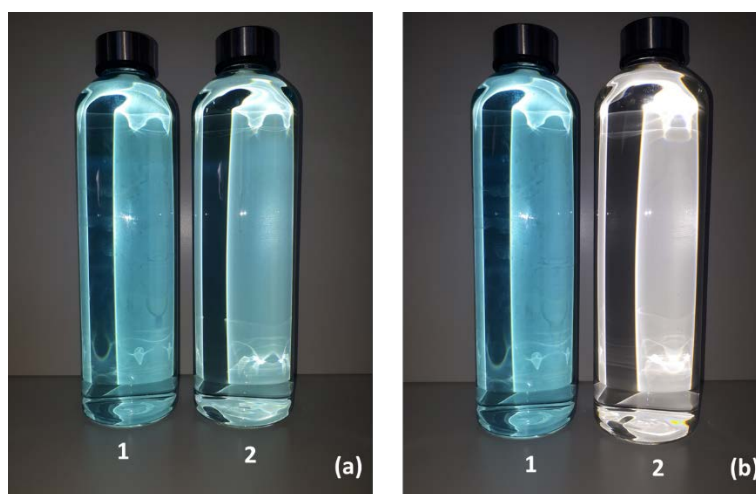


Figure 2 : Suivi de la décoloration d'une eau colorée au bleu de Méthylène, à l'état initial (a) et après 30 minutes d'exposition aux UVA pour la bouteille 2 (b)

Cet essai montre clairement que le procédé LAVIE® présente en plus de ses capacités de déchloration étudiées ci-dessous des capacités claires de décoloration contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité des eaux de consommation pouvant présenter des problèmes de légères colorations.

Conclusion :

Les essais conduits, le 20 novembre 2017, sur le procédé LAVIE® développé par la société SOLABLE sur des eaux de consommation dopées en Chlore et colorée par ajout de Bleu de Méthylène, montrent clairement que, sans aucun ajout de réactifs ou d'utilisation de supports d'échange d'ions ou de filtration :

- Pour ce qui est du Chlore libre ou résiduel et pour des concentrations que l'on peut considérer comme importantes au regard des préconisations de l'OMS, le procédé LAVIE® présente d'un point de vue quantitatif des rendements de déchloration supérieurs à 90% et ce dès 15 minutes d'exposition au rayonnement UVA
- Pour ses effets sur la coloration de l'eau (caractère important de la qualité de l'eau notamment du point de vue de sa perception sociétale), le procédé LAVIE® présente, d'un point de vue qualitatif, des capacités de décoloration que l'on peut considérer comme complètes sur des échantillons colorés au Bleu de Méthylène. Ces observations montrent donc des potentialités d'oxydation et de dégradation de molécules chimiques contenues dans les eaux du procédé LAVIE®

Enfin, l'utilisation de rayons UVA apporte de plus une garantie supplémentaire sur le maintien ou l'amélioration de la qualité bactériologique des eaux.

Fait à Aix en Provence le 06 décembre 2017



Prof. Nicolas ROCHE