

Chapitre 6

Méthodes de traitement d'eau

6.1 SÉDIMENTATION ET FILTRATION	36
6.2 LUMIÈRE ULTRAVIOLETTE	37
6.3 CHLORE ET COMPOSÉS CHLORÉS	39
6.4 OZONE	40
6.5 IODOPHORES	41

La désinfection de l'eau peut ne pas être exigée si celle-ci provient d'une zone dont la qualité est telle que les mollusques bivalves qui y sont produits et récoltés peuvent être directement commercialisés pour la consommation humaine (Zones classées A dans l'UE, Zones approuvées aux États-Unis) et si le système de purification adopté est à circuit ouvert. Dans de telles circonstances, la désinfection fournira une garantie supplémentaire contre des contaminations occasionnelles ainsi qu'une protection contre celles dues aux pathogènes naturellement présents dans l'eau de mer comme les vibrions. Si le lieu de production et de récolte des coquillages se trouve dans une zone dont la qualité d'eau est moins bonne ou si le système de purification adopté est fermé, la désinfection de cette eau et/ou de l'eau recyclée est nécessaire de façon à inactiver les pathogènes qui peuvent s'y trouver. A partir de 5 unités de turbidité néphéométriques (UTN) (approximativement 15 mg/l de matières solides en suspension) une atténuation des UV se produit. L'US NSSP indique cependant une limite de turbidité de 20 UTN. Il faut prendre garde à ce que le système UV fonctionne de façon efficace et que les particules de matière ne s'accumulent pas dans d'autres parties du système, par exemple au niveau des débitmètres. Le Tableau 6.1 compare les avantages et les inconvénients des trois principales méthodes de désinfection.

Tableau 6.1: Comparaison des trois principaux systèmes de désinfection de l'eau

Opérations	Lumière ultraviolette	Chlore/composés chlorés	Ozone
Investissement initial	faible	modéré	élevé
Frais d'exploitation	très faibles	faibles	élevés
Installation	simple	complexe	complexe
Entretien	facile	modéré	difficile
Frais d'entretien	faibles	moyens	élevés
Résultats	excellents	croissance possible	peu fiables
Limpidité de l'eau	élevée	faible	moyenne
Effets virucides	efficaces	très limités	efficaces
Dangers pour le personnel	modérés (yeux, peau)	élevés	modérés (oxydant)
Produits chimiques toxiques	aucun	oui	oui
Effets résiduels	aucun	oui	quelques-uns
Effets sur l'eau	aucun	trihalométhanés	sous-produits toxiques
Problèmes de fonctionnement	très peu	modérés	nombreux
Temps de contact	1 à 5 secondes	30 à 60 minutes	10 à 20 minutes
Effets sur les coquillages	aucun	irritants	oxydants

Source: Zinnbauer, *Pharmaceutical Engineering*, mars-avril 1985.

Un traitement supplémentaire peut être appliqué à l'eau de mer recyclée (et en particulier réutilisée) pour réduire la concentration en sous-produits métaboliques provenant des mollusques bivalves (protéines, ammoniac). Il comprend des écumeurs à protéines et des biofiltres. Ces équipements devraient être utilisés et entretenus en respectant leurs modes d'emploi ou les recommandations techniques du fabricant. Comme pour tous les autres systèmes de traitement, une quantité et une circulation suffisantes d'eau sont nécessaires. Les biofiltres devraient être placés avant le processus de désinfection de l'eau. Cela garantit d'une part que les désinfectants chimiques résiduels ne désactivent les micro-organismes dans les biofiltres et d'autre part que les micro-organismes relâchés par le ou les filtres (notamment des pathogènes comme les vibrions) sont inactivés avant d'atteindre les coquillages. Placer des écumeurs avant la désinfection réduit aussi les interférences entre les sous-produits et le processus de désinfection.

Il est donc nécessaire de placer les divers composants des systèmes de traitement de l'eau en respectant un ordre logique de façon à optimiser la performance de chaque équipement et de l'ensemble du système. On devrait connaître les résultats attendus de chaque composant (par ex. la dose cible du processus de désinfection) et chaque unité devrait fonctionner et être entretenue selon les instructions du fabricant.

6.1 SÉDIMENTATION ET FILTRATION

Il s'agit de deux approches traditionnelles qui visent à réduire la turbidité de l'eau utilisée pour la purification.

Sédimentation

La sédimentation est plus appropriée dans les systèmes à circuit fermé car d'importants volumes d'entreposage seraient nécessaires pour mettre en œuvre dans les systèmes à circuit ouvert. Réalisée dans de grands bassins pendant des périodes pouvant durer jusqu'à une journée (en général 12 heures ou plus), son but est de recueillir les grosses particules et celles de taille moyenne qui tombent au fond des bassins. Il est important que l'eau de mer ne soit pas agitée durant cette opération afin de ne pas provoquer une nouvelle suspension des particules. Les particules les plus fines ne se déposent cependant pas au fond du bassin et ce procédé n'est donc pas totalement efficace. Après la phase de sédimentation, l'eau qui sert au remplissage du système de purification devrait être retirée à partir d'un robinet d'arrêt placé quelques centimètres au-dessus du fond du bassin de façon à ne pas agiter les matières sédimentées. Pour la même raison, le débit de l'eau doit rester relativement faible. Les bassins de sédimentation devraient être placés avant l'unité de purification à circuit fermé et l'eau recyclée ne doit pas revenir dans le bassin de sédimentation. On devrait aussi disposer d'un autre orifice d'évacuation à la base du bassin pour que ce dernier soit régulièrement vidé et totalement nettoyé. Si l'eau ainsi traitée est conservée plus d'une journée avant d'être utilisée, elle devrait être pompée à l'aide d'un dispositif à petit circuit, de préférence via une lampe à UV, pour éviter qu'elle perde de sa fraîcheur. Dans ce cas, l'entrée, la sortie et le débit de l'eau doivent être tels qu'ils empêchent toute nouvelle suspension des matières sédimentées. La

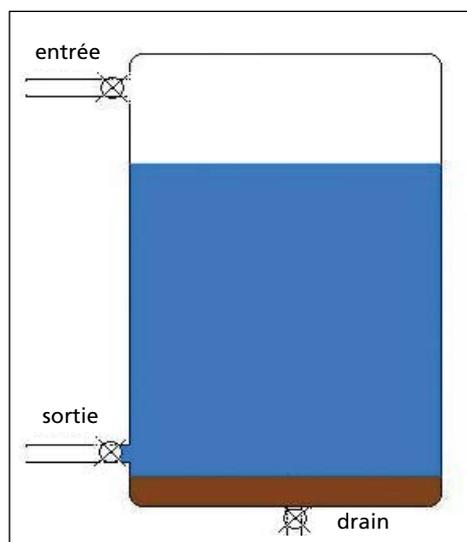


Figure 6.1: Bassin de sédimentation utilisé pour clarifier l'eau de mer

Figure 6.1 présente le dessin d'un bassin de sédimentation simple.

Filtration

La filtration peut être adoptée dans les systèmes à circuit fermé comme dans ceux à circuit ouvert. Dans les premiers, son utilisation dépend cependant du débit maximal de l'eau permis par l'unité filtrante. Les filtres sont utilisés avant le processus de désinfection. Dans les unités à circuit fermé, ils doivent être placés sur la tuyauterie d'amenée d'eau et non dans le système même, sinon, des bactéries et d'autres micro-organismes se développent sur le matériel de filtration et deviennent une source potentielle de contamination dans le système.



ALESSANDRO LOVATELLI (FAO)

Figure 6.2: Filtre à sable sous pression utilisé dans un système de purification

On utilise traditionnellement des filtres à sable. Ces filtres sont efficaces pour éliminer des particules relativement petites mais doivent être conçus et entretenus avec soin pour rester efficaces. Leurs capacités sont relativement limitées en ce qui concerne le débit de l'eau. Ces unités filtrantes devraient être obtenues auprès des entreprises qui les commercialisent ou réalisées en respectant les spécifications publiées. Les instructions en matière de nettoyage et d'entretien fournies par le fabricant ou leur concepteur devraient être respectées à la lettre. La Figure 6.2 présente un filtre à sable sous pression placé dans un système de purification avec une désinfection par UV.

D'autres types de filtres peuvent aussi être efficaces, notamment ceux avec des cartouches remplaçables ou avec des unités faciles à nettoyer. Il est important que ces dernières soient réalisées avec des matériaux qui empêchent le développement des micro-organismes. Une nouvelle fois, il est indispensable de respecter à la lettre les instructions du fabricant en matière de nettoyage et d'entretien (notamment en ce qui concerne le remplacement des cartouches s'il y a lieu).

En Malaisie, l'eau de mer utilisée pour la purification ne subit aucun traitement. Elle est filtrée jusqu'à 1 µm pour éliminer les particules en suspension ainsi que la faune et la flore vivant dans l'eau (Aileen Tan Shau-Hwai, témoignage personnel). D'un point de vue microbiologique, ce procédé élimine les bactéries et les virus associés à des particules mais pas les virus libres.

6.2 LUMIÈRE ULTRAVIOLETTE

Le traitement de l'eau de mer par rayonnement ultraviolet (UV) peut être utilisé aussi bien dans les systèmes à circuit fermé que dans ceux à circuit ouvert. Dans les systèmes de purification, on a communément recours à des lampes basse pression



CEFAS (UK CROWN COPYRIGHT)

Figure 6.3: Unité de traitement UV reliée au système de purification d'un petit bassin peu profond

Clave: SB = Interrupteurs (permettant de contrôler l'appareil de chauffage/refroidissement, la pompe et l'unité de traitement UV)
 UV = Unité de traitement UV
 UVPS = Bloc d'alimentation UV



Figure 6.4: Deux imposantes unités de traitement UV installées dans une grande station de purification

dont la principale émission devrait être comprise dans le spectre des rayons ultraviolets (entre 200 et 280 nm avec un pic bactéricide à une longueur d'onde de 254 nm) dans un but de désinfection. Une unité à lampe unique se compose d'un tube contenant une lampe à UV placée dans une gaine de quartz. L'eau circule dans l'espace compris entre le tube et la gaine.

La Figure 6.3 présente un tel appareil placé sur le système de purification d'un petit bassin peu profond (on peut également voir le débitmètre linéaire à gauche de l'unité de traitement UV). La Figure 6.4 présente quant à elle deux grandes unités de traitement UV qui fonctionnent dans une grande station de purification (on peut aussi voir au bout de la pièce un écumeur à protéines avec ozonateur). L'unité établit par conséquent une distance maximum fixée pour le rayonnement de la lumière UV qui correspond à la distance radiale entre l'extérieur de la gaine en quartz et l'intérieur du tube externe. Avant le développement de telles unités à tube clos, les systèmes de purification ayant recours aux UV étaient installés avec des lampes situées au-dessus de l'eau circulant dans une auge peu profonde ou au-dessus d'un déversoir (unités Kelly-Purdy). Ces installations ne sont cependant pas aussi efficaces et aussi sûres que les systèmes clos. Leur utilisation n'est donc pas recommandée.

Une dose minimum de 10 mW/cm²/sec est considérée comme appropriée dans des systèmes à circuit fermé. Cela équivaut à une lampe de 30 W pour un système contenant 2 000 litres d'eau de mer. Les fabricants des unités de traitement UV indiquent avec quel débit maximum leur appareil peut être utilisé.

L'efficacité de l'émission d'UV dans la fourchette ciblée baisse à l'usage. Les fabricants de lampes UV tendent à indiquer une durée de vie qui correspond à une efficacité restante de 80 pour cent par rapport à l'original. Il s'agit de l'émission d'UV estimée à la fin de la vie nominale des lampes qui devrait être utilisée pour déterminer la taille de l'unité de traitement UV nécessaire pour un système donné. La lampe GE G55T8/HO 55W a par exemple une durée de vie utile de 8 000 heures pendant laquelle l'émission nominale sera de 44 W. Les lampes doivent être remplacées à la fin de leur durée de vie estimée même si elles continuent à fonctionner afin de garantir une émission correcte d'UV. Il est donc essentiel que chaque lampe soit installée avec un mécanisme automatique qui permet

d'enregistrer depuis combien de temps elle fonctionne ou bien il faut tenir un registre à ce sujet. Il faudrait encore souligner que la durée de vie des lampes est généralement estimée sur la base d'un fonctionnement continu et que le fait de les allumer et de les éteindre réduit leur durée de vie réelle.

La dose de rayonnement UV effectivement appliquée à l'eau de mer dépend d'un certain nombre de facteurs. La transmissivité du milieu, c'est-à-dire dans ce cas la capacité des UV à passer à travers l'eau de mer, entre notamment en jeu. Cette transmissivité dépend à son tour de plusieurs facteurs comme la turbidité et la présence de sels inorganiques dissous ou de matières organiques. La quantité d'UV effectivement appliquée à l'eau de mer dépend aussi de l'état de propreté de la gaine en quartz qui contient la ou les lampes. La concentration de matière sur la gaine réduit nettement la quantité d'UV qui passe à travers et il est par conséquent nécessaire de la nettoyer régulièrement en respectant les indications du fabricant. Tous les produits et matériaux adoptés au cours du processus de nettoyage devraient être agréés pour un usage dans des établissements de production alimentaire et les unités devraient être parfaitement rincées selon les modalités indiquées.

Le dosage des UV peut être estimé soit à partir de la dose appliquée (généralement calculée à partir de l'émission de la lampe – théorique ou mesurée) et de la transmissivité de l'eau de mer, soit comme la dose reçue (mesurée sur la paroi du tube contenant la lampe). Dans la pratique, les résultats des dispositifs permettant de mesurer la dose d'UV varient considérablement et le meilleur moyen pour déterminer la dose requise est de se baser sur la performance théorique de la lampe et de contrôler autant que possible la transmissivité de l'eau (par ex. grâce à des systèmes de sédimentation/filtration).

Les radiations UV peuvent être nocives pour les yeux et pour la peau. L'utilisation de lampes scellées dans des unités opaques permet de protéger le personnel des rayonnements. Certaines unités ont des embouts transparents qui permettent de voir si elles fonctionnent ou non. Sans cela, on doit disposer d'autres indicateurs pour savoir si la lampe est en marche de façon à pouvoir vérifier son fonctionnement au début de la purification et régulièrement pendant le cycle. Constaté que la lampe fonctionne NE signifie PAS que l'émission d'UV est satisfaisante. Il est donc nécessaire de contrôler son utilisation et de la remplacer au bout du nombre d'heures indiqué, que celle-ci fonctionne ou non.

Lors du démontage et du remontage des unités de traitement UV au cours du nettoyage ou du remplacement de la lampe, les indications du fabricant doivent être respectées scrupuleusement pour que cette dernière ne soit pas endommagée et pour que l'eau n'entre pas en contact avec les installations électriques.

6.3 CHLORE ET COMPOSÉS CHLORÉS

Le chlore a été l'un des premiers moyens utilisés pour désinfecter l'eau en vue de la purification. Quand il est utilisé avec de l'eau de mer contenant des quantités faibles à modérées de sédiments et de matières organiques, c'est une substance bactéricide efficace. Son efficacité contre les virus prète cependant encore à discussion.

En plus du chlore, on utilise en général une solution d'hypochlorite de sodium même si des composants générant du chlore et du gaz de chlore peuvent être utilisés (NB: ce dernier est dangereux). Au Japon, certaines stations ont recours à une électrolyse continue de l'eau de mer pour générer du chlore.

En vue de la purification, on utilise normalement une quantité de 2 ou 3 mg/l de chlore libre pendant une durée de contact d'au moins une heure. Au Maroc, les autorités compétentes précisent que la concentration maximum de chlore libre est de 3 mg/l et que ce produit doit rester en contact avec l'eau pendant au moins une heure.

La quantité de la solution de chlore nécessaire peut être déterminée en utilisant la formule suivante:

$$\text{Volume à ajouter (litres)} = \frac{\text{concentration finale requise (mg/l)} \times \text{volume du bassin (litres)}}{\text{concentration de la solution à disposition (mg/l)}}$$

Pour obtenir une concentration finale de 3 mg/l dans un bassin d'un volume de 1 000 litres avec une solution d'une concentration à 100 pour cent (100 000 mg/l) de chlore libre, il faut ainsi:

$$\begin{aligned} \text{Volume à ajouter (litres)} &= \frac{3 \times 1\,000}{100\,000} \\ &= 0.03 \text{ litres} \\ &= 30 \text{ ml} \end{aligned}$$



MAMORU YOSHIMIZU

Figure 6.5: Électrolyseur avec débitmètre utilisé pour la purification des huîtres

Avant son utilisation, il est nécessaire de réduire le chlore libre dans l'eau à une teneur inférieure à 0,1 mg/l. Sinon, les coquillages n'auront pas l'activité physiologique attendue et la purification sera moins efficace. Cette réduction est obtenue avec un ajout de thiosulfate de sodium. Les sous-produits qui se forment au contact avec les matières organiques dans l'eau de mer constituent aussi un problème car ils peuvent être accumulés par les coquillages et représenter des risques à long terme pour la santé humaine.

de NaCl. Ce dernier se décompose lors de son passage sur l'électrode. Normalement, on utilise entre 0,2 et 0,3 mg de chlore par litre pour la désinfection. Cette concentration ne révèle pas la toxicité des huîtres mais s'avère être efficace pour inactiver *E. coli*, *V. parahaemolyticus* et le *calicivirus félin* (CVF), un substitut de norovirus.

Au Japon, on utilise un électrolyseur (voir Figure 6.5) pour la chloration de l'eau d'entrée qui contient entre 3,0 et 3,3 pour cent (30 à 33 ppm)

6.4 OZONE

L'ozone est très efficace pour l'inactivation des bactéries et des virus. Il peut être obtenu à l'état gazeux en bonbonnes ou bien être produit sur place grâce à des décharges électriques de haute intensité ou au moyen de rayonnements UV (le pic est alors atteint à une longueur d'onde de 185 nm et non à 254 nm comme pour la désinfection). L'ozone est ensuite introduit dans l'eau de mer grâce à un diffuseur pour être bien mélangé.

Le recours à l'ozone pour la désinfection de l'eau est relativement cher et ce gaz est très toxique. Il faut donc respecter des règles strictes en matière de sécurité. Pour traiter l'eau de mer par lots, on peut utiliser de l'ozone dont la concentration ne dépasse pas 0,5 mg/l (de façon à minimiser la production de bromate – voir ci-dessous) pendant une durée pouvant aller jusqu'à 10 minutes. Cette opération est réalisée dans un bassin différent

de ceux utilisés pour la purification et l'ozone résiduel doit être éliminé de l'eau de mer par aération avant l'utilisation de cette dernière pour éviter tout effet négatif sur les animaux.

L'utilisation d'ozone pose aussi problème pour deux autres raisons. La première est que le contact de l'ozone avec l'eau de mer produit du bromate potentiellement cancérigène. Le deuxième sujet de préoccupation est que des quantités résiduelles d'ozone peuvent provoquer la réduction ou même l'arrêt de l'activité des coquillages, ce qui limite l'efficacité du processus de purification.

6.5 IODOPHORES

Des systèmes utilisant des iodophores ont aussi été développés par le passé en Italie et il y a eu des tentatives de commercialisation de ces derniers dans d'autres pays. L'intention est qu'en plus de désinfecter l'eau pour la purification, de faibles niveaux d'iodophores dans le système digestif des coquillages aient un effet bactéricide direct, y compris virucide. Des préoccupations ont cependant été exprimées quant à l'ampleur de leur activité contre les virus. Les systèmes aujourd'hui prépondérants en Italie sont ceux qui ont recours à l'ozone ou aux UV.