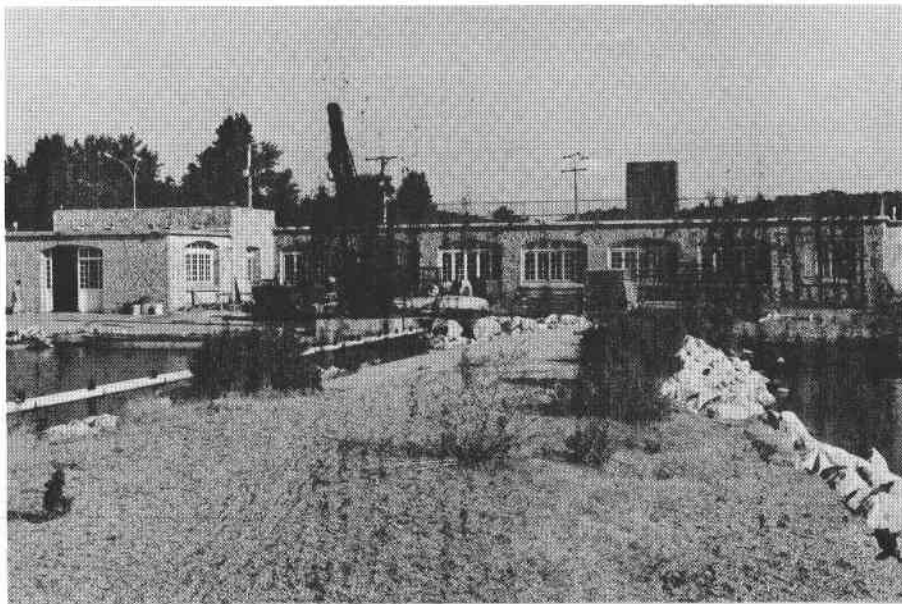


OZONATION DE L'EAU DE MER ET EPURATION DES COQUILLAGES

par Yves FAUVEL, Georges PONS et Jean-Pierre LEGERON

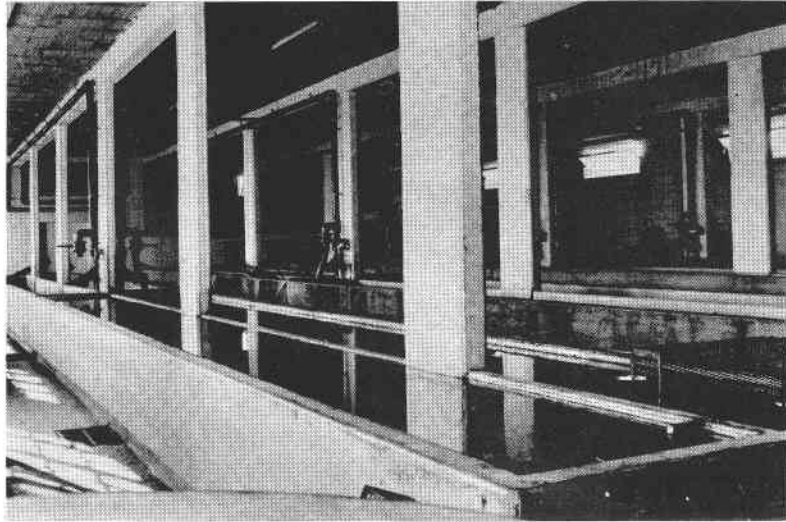
Résumé.

Devant l'accroissement à la fois de la pollution des eaux du littoral, et de la consommation des coquillages, des stations d'épuration ont dû être créées. Parmi les techniques utilisées, l'ozonation de l'eau de mer combinée à une rétention des coquillages dans des bassins judicieusement étudiés, permet d'obtenir d'excellents résultats de désinfection ; tel est le cas d'une station d'épuration située dans le sud de la France. L'étude *in situ* de différents paramètres physico-chimiques a permis de démontrer l'absence totale d'ozone au niveau des bassins, mais la présence d'un taux élevé d'oxygène dissous dans l'eau après ozonation. De même, il n'a pas été décelé de bromates, mais un résiduel oxydant a été mesuré. Diverses recherches ont permis de montrer qu'il s'agissait de brome libre dont la durée de vie est fonction non seulement de la qualité et de la température de l'eau, mais aussi des coquillages eux-mêmes.

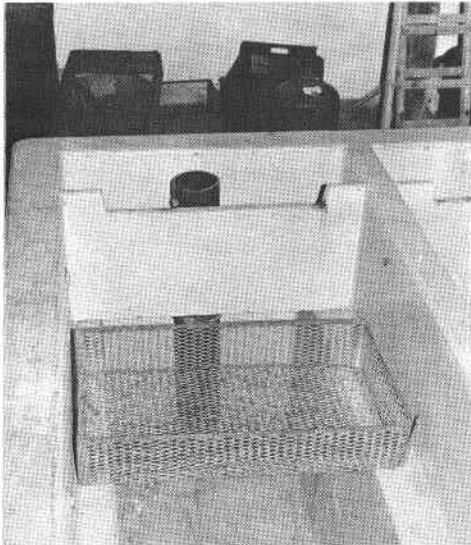


Vue générale de la station d'épuration de coquillages « La Côte Bleue ».

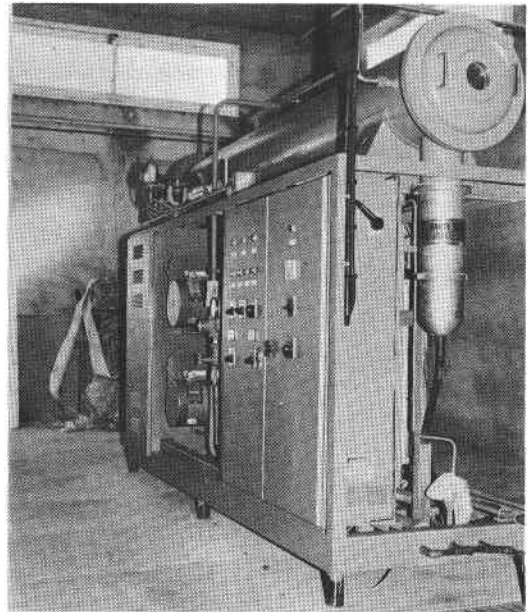
L'augmentation locale de la pollution des eaux du littoral marin a entraîné, comme conséquence, la contamination de coquillages qui ne pouvaient plus être dégustés en toute quiétude par le consommateur. S'il était relativement aisé d'interdire à la pêche certaines zones côtières, il était par contre plus difficile de faire fermer les parcs où des professionnels cultivent les coquillages. C'est pourquoi, afin malgré tout d'assurer un débouché aux produits pouvant être contaminés à l'origine, des stations d'épuration ont été créées çà et là dans le monde. Si ces stations diffèrent entre elles, elles sont par contre basées sur le principe général suivant : l'eau de mer préalablement désinfectée sert à remplir des bassins où les coquillages séjournent pendant un temps plus ou moins long (fig. 1).



Vue intérieure de la station montrant les bassins.



Détail d'un bassin.



Générateur d'ozone utiliser pour la désinfection de l'eau de mer.

L'épuration des coquillages peut donc se décomposer en deux étapes : la désinfection de l'eau de mer de façon à la débarrasser des germes pathogènes susceptibles d'être présents ; la rétention des coquillages dans un bassin où ceux-ci rejettent peu à peu les microorganismes indésirables.

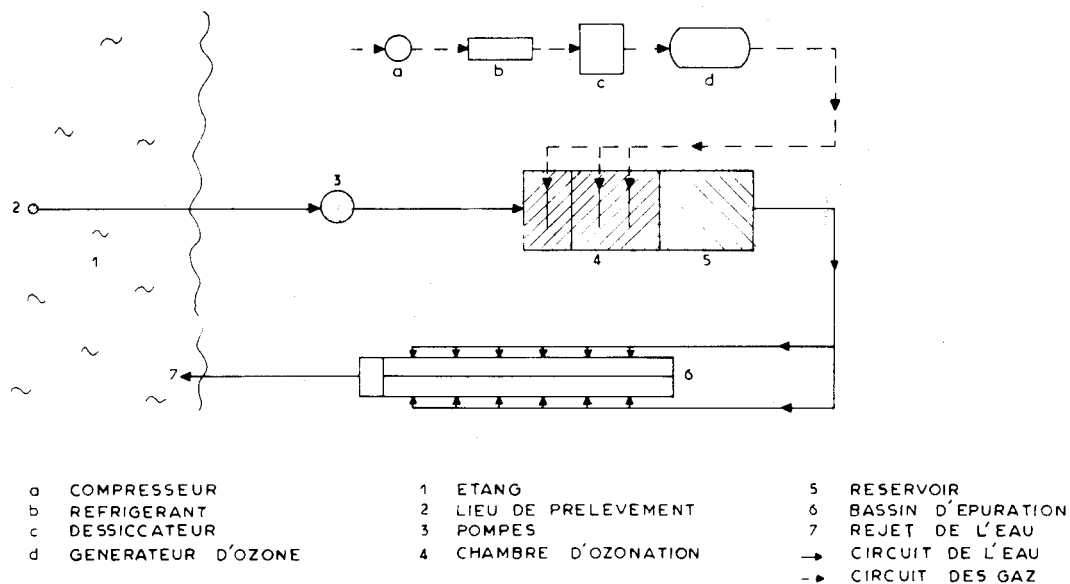


Fig. 1 - Diagramme général du traitement de l'eau de mer.

Parmi les différentes techniques, l'une d'entre elles, à savoir l'ozonation, tend de plus en plus à se développer ; elle permet d'obtenir d'excellents résultats surtout si elle s'accompagne d'un bassin de rétention particulièrement bien adapté. Tel est le cas de la station d'épuration des coquillages de « La Côte Bleue » à Bouzigues dans le sud de la France. Le présent rapport a pour but de décrire cette installation et de commenter les résultats physico-chimiques obtenus, dans le cas réel d'épuration de moules et d'huîtres.

La station d'épuration de coquillages de « La Côte Bleue ».

Située en pleine région d'élevage de coquillages en bordure de l'étang de Thau, la station reçoit à des fins d'épuration principalement des moules, des huîtres et des palourdes susceptibles d'être contaminées. L'eau de mer est prélevée dans l'étang à une cinquantaine de mètres du rivage ; cette eau, pompée au débit maximum de 150 m³/h, subit une ozonation à des fins de désinfection. L'ozone est fourni par un ozoniseur de type « Monobloc 18 tubes », pouvant produire 270 g O₃/h à partir d'air. Quant à la mise en contact de l'eau de mer avec l'ozone, elle s'effectue par l'intermédiaire de diffuseurs poreux dans une chambre comportant deux compartiments ; le temps de contact total varie de 6 à 10 mn, le taux de traitement de 1 à 1,5 ppm et la hauteur de l'eau est voisine de 3,5 m. Après ozonation, l'eau de mer tombe dans un dernier compartiment qui sert de réservoir, d'une capacité maximale de 25 m³, il possède un détecteur de niveau minimum et maximum : ainsi selon la hauteur de l'eau dans le réservoir, le pompage et l'ozonation sont automatiquement mis en route ou arrêtés.

Ainsi traitée, l'eau de mer alimente les bassins d'épuration des coquillages (fig. 2) ; au nombre de 8, de 20 m³ chacun, ils sont divisés longitudinalement en deux compartiments. Leur longueur avoisine 10 m, leur hauteur moyenne est de 1 m et leur fond possède une pente de 2 %. Les paniers contenant les coquillages sont isolés du fond du bassin grâce à des butées placées sur les parois longitudinales. Des bouches de distribution permettent de répartir l'eau de mer ; situées dans la partie haute des bassins, elles sont régulièrement espacées sur l'une des parois longitudinales. L'évacuation de l'eau de mer s'effectue grâce à une bonde amovible située à l'extrémité la plus profonde du bassin. Une chicane judicieusement placée permet d'éliminer à la fois l'eau de surface et surtout l'eau située au fond des compartiments. Après utilisation, l'eau est rejetée dans l'étang. Son débit de renouvellement dans les bassins varie de 2 à 5 m³/h lorsque le traitement s'effectue en continu. Mais dans tous les cas, les coquillages sont répartis uniformément sur une faible épaisseur dans des paniers à raison de 35 kg/m².

Etude analytique de l'eau de mer après ozonation

Avant d'observer *in situ* les résultats obtenus, il nous a paru intéressant d'étudier la composition de l'eau de mer lorsque celle-ci a été ozonée. L'étude au laboratoire a été l'objet d'ozonation de diverses solutions d'halogénures ainsi que de plusieurs échantillons d'eau de mer, dans des conditions aussi proches que possible de la réalité. Les espèces présentes et plus particulièrement les oxydants totaux étaient ensuite identifiés et mesurés.

Pendant toute l'étude, les analyses suivantes ont été effectuées :

- Oxygène dissous (appareil Bechman Monitor System modèle 123305),
- Salinité (appareil Electronic Switch Gear type MC 5/2),
- pH (appareil Tacussel type P T),
- potentiel d'oxydo-réduction (appareil Tacussel Minisis 5000),
- Bromates (polarographie impulsionnelle avec polaromate Tacussel PRG5),
- résiduel d'ozone dissous (méthode qualitative par absorption à 254 nm ; spectrophotomètre Philips Pye Unicam),
- Oxydants totaux (méthode iodométrique avec mesure de l'absorption à 350 nm),
- résiduels oxydants autres que l'ozone (même méthode que la précédente mais après ajout de glycine (2 g/l),
- résiduel d'ozone dissous (évaluation quantitative obtenue par différence des deux méthodes précédentes).

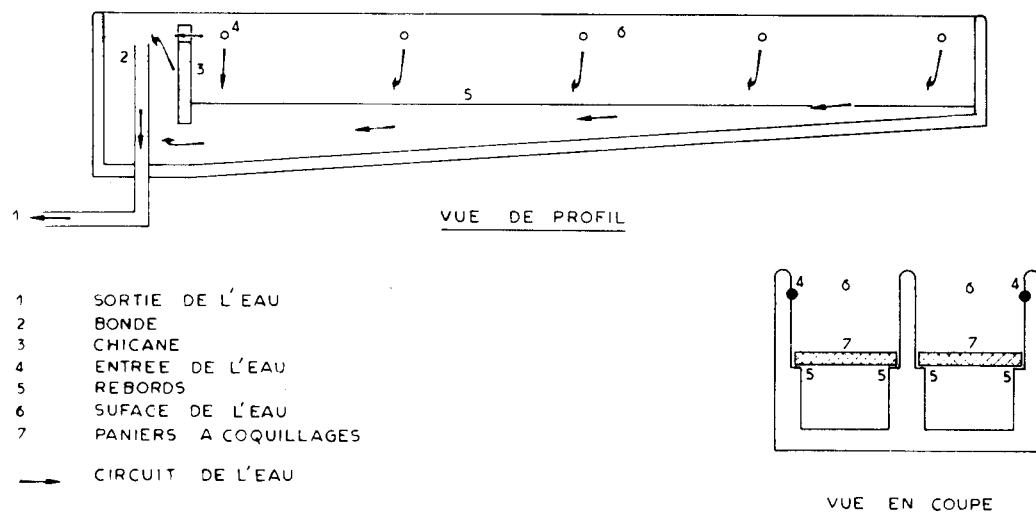
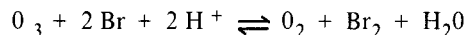


Fig. 2 - Détails d'un bassin d'épuration.

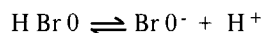
Lors de l'étude au laboratoire, l'ozonation a été réalisée dans des flacons de demande en ozone, selon la technique décrite dans une précédente publication. L'ozone était produit à partir d'air, par un ozoniseur de laboratoire du type Labo 70. Si on se réfère à la théorie des potentiels d'oxydo-réduction, l'ozone étant l'oxydant le plus puissant après le fluor, il doit pouvoir libérer le chlore des chlorures, et surtout le brome des bromures selon la réaction suivante :



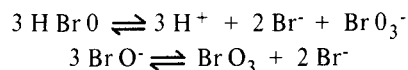
Comme le chlore, le brome s'hydrolyse dans l'eau :



L'acide hypobromeux se dissocie à son tour :



La formation de bromates peut aussi avoir lieu :



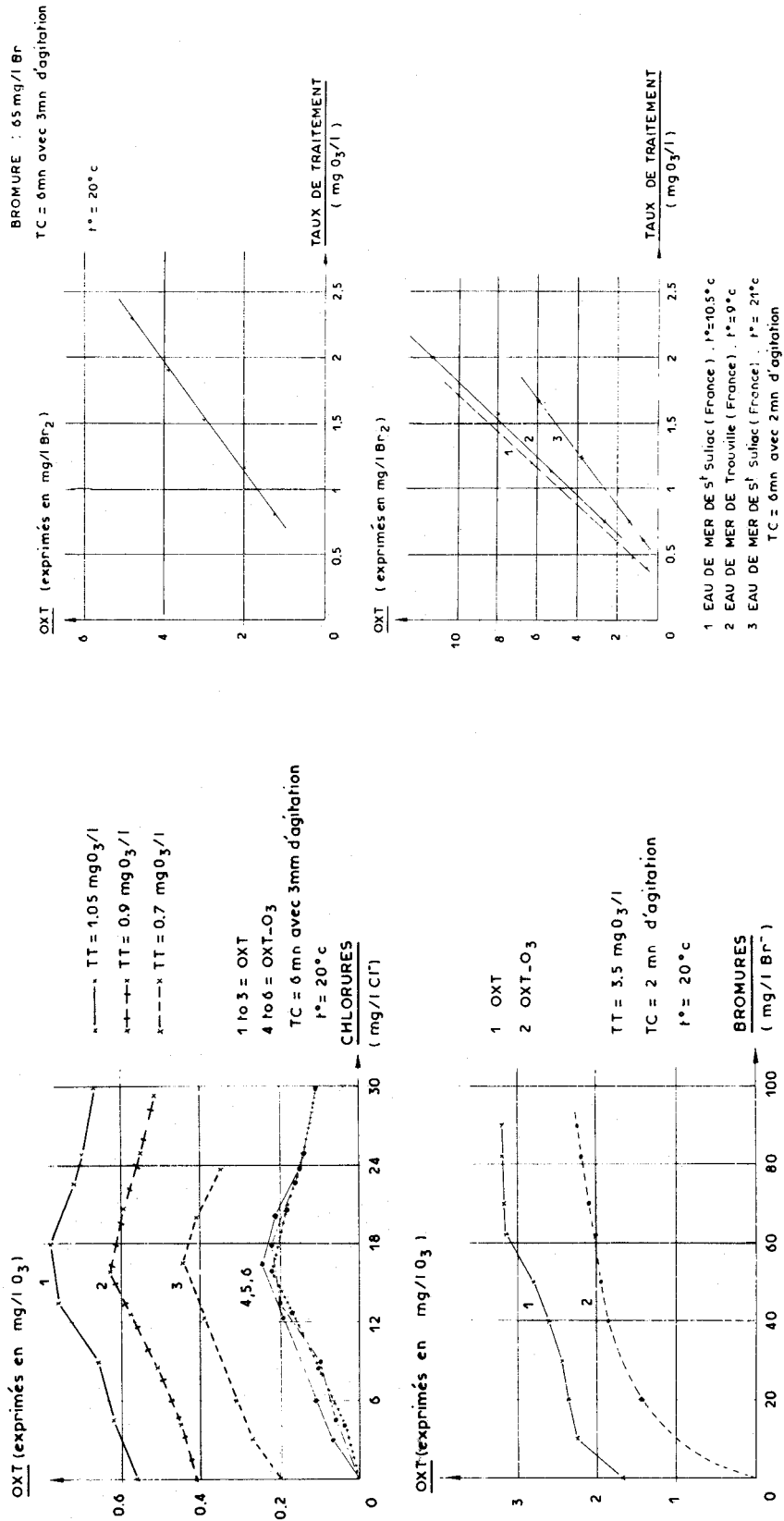


Fig. 3 - Oxydants totaux (OXT) formés après ozonation de solutions de chlorures et de bromures.

Fig. 4 - Oxydants totaux (OXT) formés après ozonation de solutions de bromures et d'échantillons d'eau de mer.

Etant donné la faible concentration en iodures de l'eau de mer (0,06 mg/l environ), la libération d'iode peut être considérée comme négligeable après ozonation. Par contre, l'ozone peut théoriquement induire la formation d'acide hypobromeux, d'ion hypobromite et de bromates à partir des 65 mg/l de bromures, ainsi que d'acide hypochloreux, d'ion hypochlorite et de chlorate à partir des 19 g/l de chlorures. Afin d'identifier ces espèces, il a été procédé à l'ozonation de solutions synthétiques d'halogénures (fig. 2). Ainsi, si des solutions croissantes de chlorures dans l'eau distillée sont ozonées, le résiduel d'oxydants totaux (OXT) passe par un maximum correspondant à une concentration en chlorures comprise entre 16 et 17 mg/l et cela quelque soit le taux de traitement (de 0,7 à 1,05 mg O₃/l). Ce résiduel se compose à la fois de chlore et d'ozone, et aucun chlorate n'a pu être mis en évidence. Ce résiduel de chlore semble peu influencé par le taux de traitement ; tout en restant faible, il passe par un maximum correspondant à celui des oxydants totaux. Quant au résiduel d'ozone, il est proportionnel au taux de traitement et semble indépendant de la concentration en chlorures.

Un phénomène très différent se produit lorsque l'on soumet à l'ozonation des solutions de bromures : ainsi la figure 3 montre qu'immédiatement après la dissolution de l'ozone un résiduel de ce gaz peut être mesuré, surtout un résiduel de brome se forme et augmente avec la concentration en bromures.

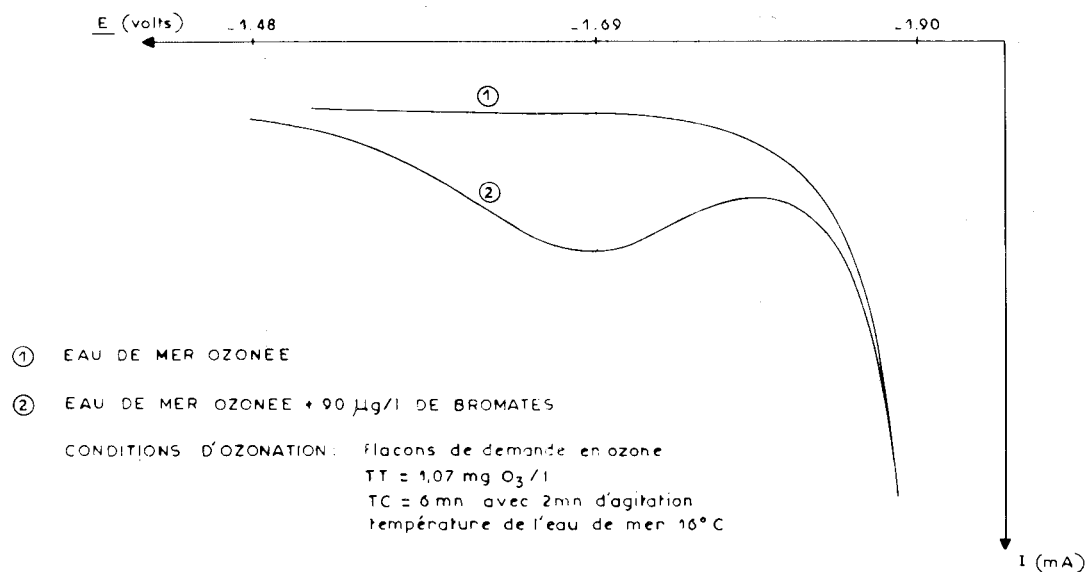


Fig. 5 - Courbes polarographiques des bromates.

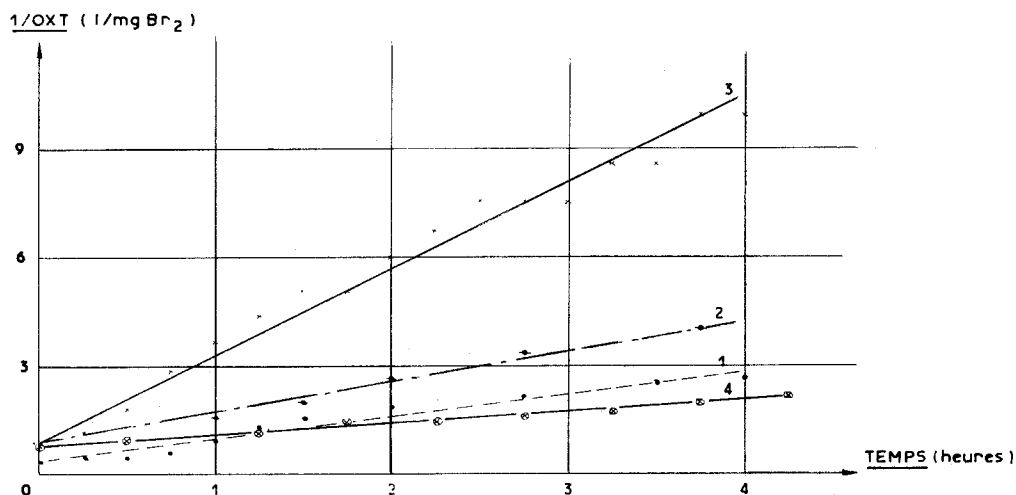
La figure 4 met en évidence l'absence d'ozone dissous après 3 mn et la présence d'un résiduel oxydant qui croît linéairement avec le taux de traitement. Pour une même dose d'ozone injectée, ce résiduel varie avec la température mais aussi avec le lieu de prélèvement de l'échantillon d'eau de mer étudié. Différentes mesures polarographiques n'ont pas permis de détecter des bromates dans l'eau de mer ozonée dans des conditions proches de la réalité (fig. 5). Le résiduel d'oxydants totaux mesuré se compose essentiellement d'acide hypobromeux et d'ions hypobromites (respectivement 78 % et 22 % pour une eau de mer à pH = 8,2 et 25°C). Cependant, si l'eau contient de l'ammoniaque, il se forme des bromamines. Quant au faible résiduel de chlore obtenu après ozonation, il va libérer le brome des bromures et donc disparaître rapidement. Mais quel est le devenir de ce résiduel de brome, qui sera appelé dans la suite de l'étude « Oxydants totaux » (OXT) ? Il paraît évident que leur demi-vie est fonction de la température, de la saison et du lieu où l'eau a été prélevée. La figure 6 montre que, quelque soit l'ozonation, la disparition des oxydants totaux suit la loi suivante pendant les premières heures : $\frac{1}{OXT} = aT + b$

où a et b dépendent de facteurs tels que température, pH, matières oxydables et conditions d'ozonation.

Ainsi, les oxydants totaux disparaissent plus vite l'été que l'hiver. D'autre part, plus le taux de traitement est élevé, plus le résiduel de brome est important, et plus il diminue lentement, comme si l'ozonation abaissait la demande en brome de l'eau de mer ainsi traitée. La même cinétique de disparition des oxydants totaux a lieu dans

les bassins d'épuration : en effet, si l'on remplit ceux-ci avec de l'eau de mer préalablement ozonée et qu'aucun renouvellement ne soit effectué (comme dans le cas de l'épuration en discontinu), le résiduel de brome chute rapidement d'abord pour diminuer de plus en plus lentement ensuite.

La figure 7 montre l'influence de la saison sur le devenir des oxydants totaux : ainsi une réduction de 50 % est obtenue pour un temps inférieur ou égal à 1 h l'été, alors que la même diminution est obtenue pour un temps égal à 2 h l'hiver ; ceci est dû à l'influence de la température et surtout de la teneur en matières oxydables de l'eau de mer :



- 1 : eau de mer de l'océan Atlantique - $T^{\circ}=16^{\circ}C$ - taux de traitement = $1,77 mg O_3/l$ - printemps - test laboratoire
- 2 : eau de mer de la mer Méditerranée - $T^{\circ}=23^{\circ}C$ - été
- 3 : eau de mer de l'océan Atlantique - $T^{\circ}=16^{\circ}C$ - taux de traitement = $1,07 mg O_3/l$ - printemps - test laboratoire
- 4 : eau de mer de la mer Méditerranée - $T^{\circ}=13^{\circ}C$ - hiver

Fig. 6 - Evolution des oxydants totaux (OXT) en fonction du temps (pas de coquillage et pas d'alimentation.)

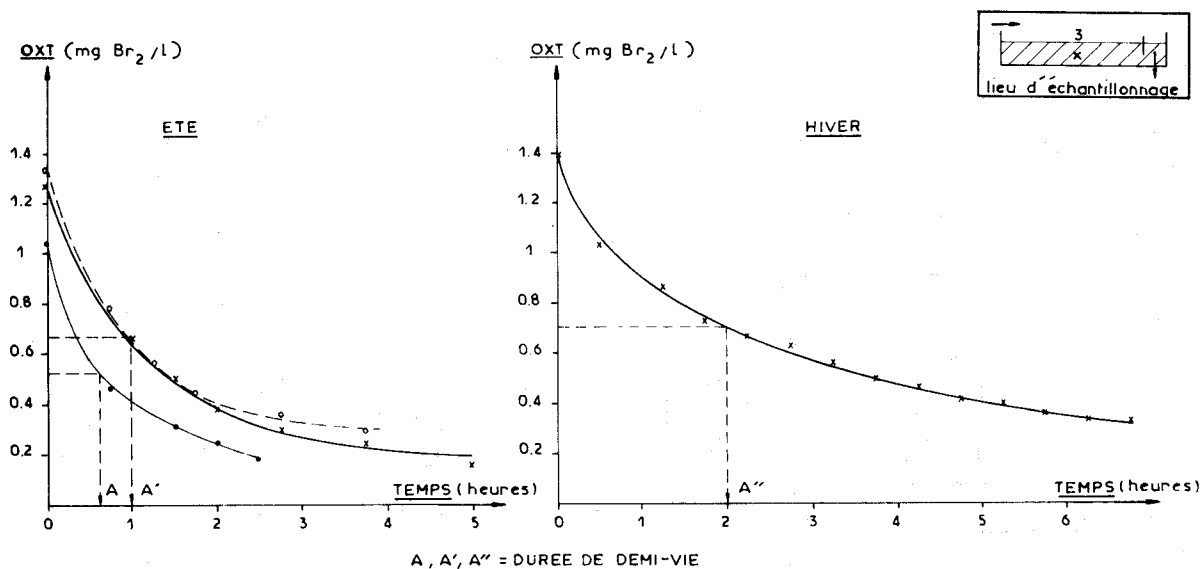


Fig. 7 - Evolution des oxydants totaux (OXT) dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée (absence de coquillage).

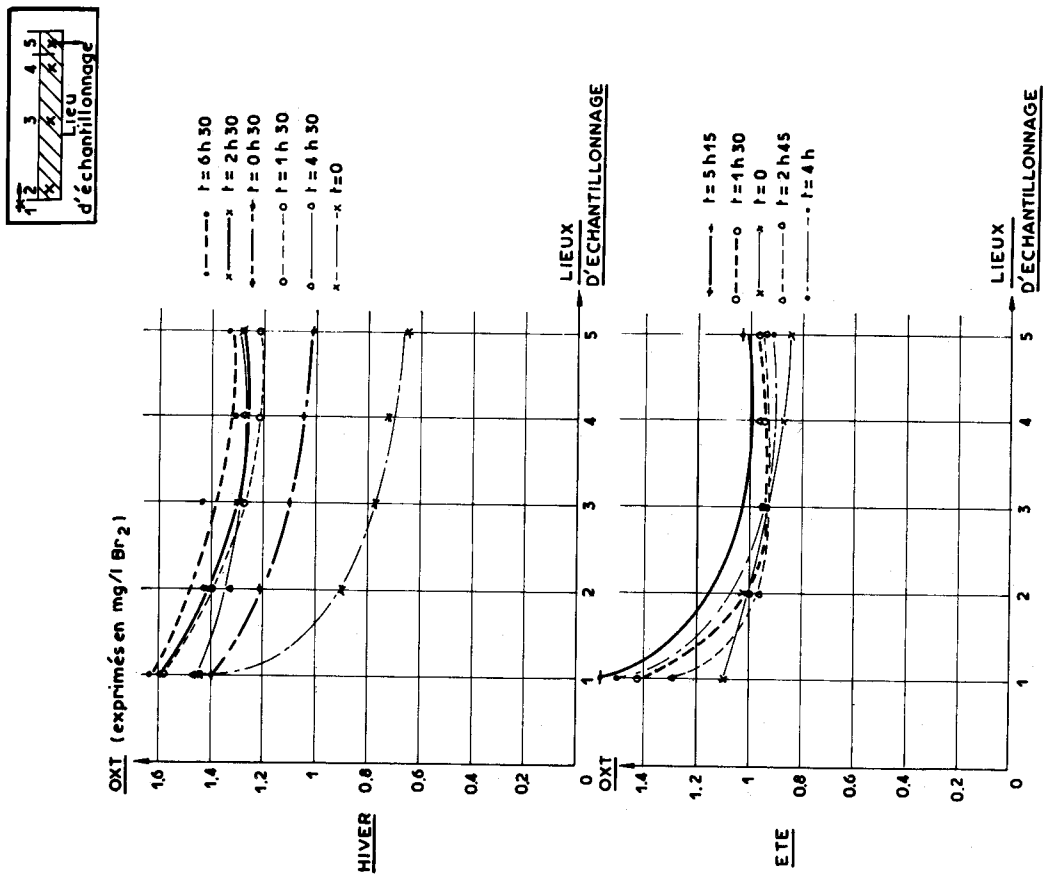


Fig. 8 - Evolution des oxydants totaux (OXT) dans un bassin alimenté en continu avec de l'eau de mer ozonée (pas de coquillage).

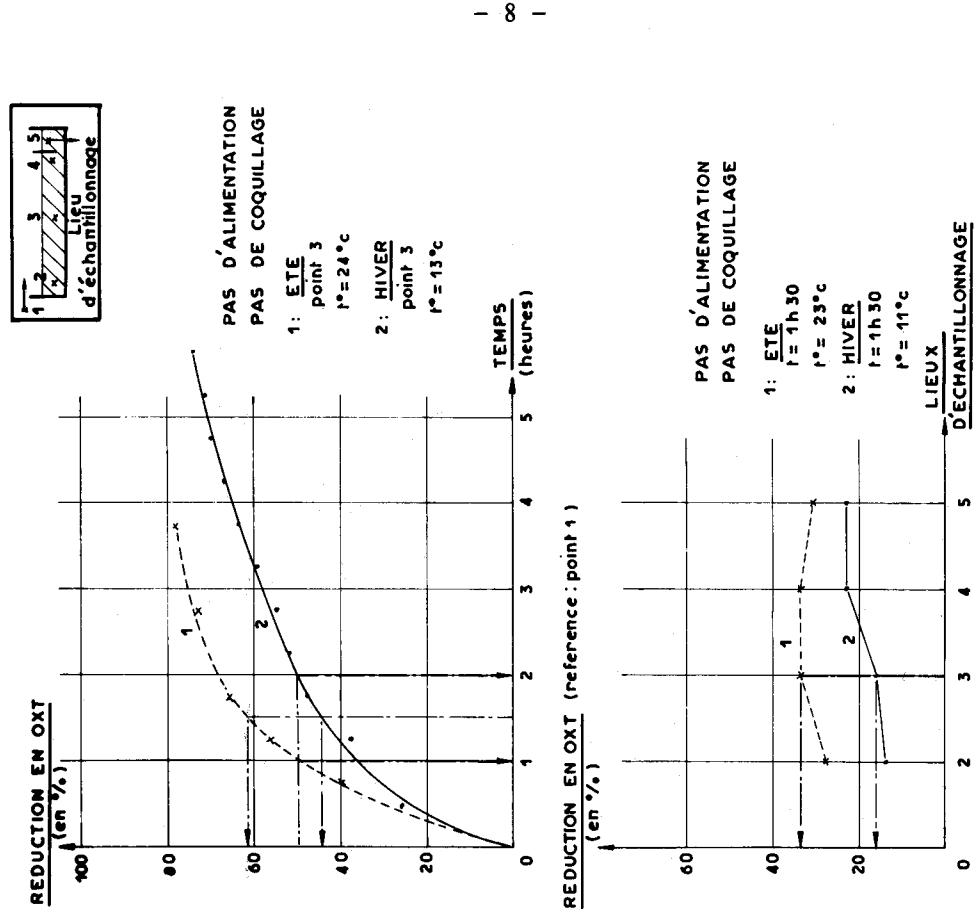


Fig. 9 - Réduction en oxydants totaux (OXT) dans un bassin selon les saisons (pas de coquillage).

plus forte l'été, la demande en brome devient plus importante et le résiduel chute plus rapidement. Lorsque le bassin d'épuration des coquillages est alimenté en continu avec de l'eau de mer ozonée, les oxydants totaux accusent une diminution moins forte ainsi qu'une stabilisation progressive avec le temps et le lieu où les analyses sont effectuées : ceci s'explique par leur apport continu avec l'eau de renouvellement, ce qui contribue à limiter la chute du résiduel de brome dans le bassin. La figure 8 permet de comparer cette évolution en fonction de la saison : la baisse des oxydants totaux entre l'eau d'entrée et celle de sortie atteint 37,5 % l'été, mais n'est que de 18 % l'hiver. De 1 ppm l'été, le résiduel de brome passe à 1,35 ppm l'hiver. Une autre confirmation est donnée par la figure 9 : les mesures ont été effectuées au centre et à mi-hauteur du bassin, 1 h 30 après son remplissage, elles montrent que la réduction en oxydants totaux est de 45 % l'hiver et de 62 % l'été lorsque l'eau n'est pas renouvelée, mais de 16 % l'hiver et de 34 % l'été dans le cas contraire.

En conclusion, le résiduel de brome chute dans les bassins d'épuration, même en l'absence de coquillages, en outre, il est plus important l'hiver que l'été, mais aussi avec, plutôt que sans, renouvellement de l'eau de mer.

Evolution de l'eau au cours de l'épuration des coquillages.

Après avoir étudié la persistance des oxydants totaux dans l'eau de mer après ozonation, le cas réel d'épuration de coquillages a fait l'objet de l'étude suivante. Deux catégories de coquillages ont été utilisées : des moules (*Mytilus galloprovincialis*) et des huîtres (*Crassostrea gigas*). Enfin, l'étude a porté sur les deux techniques actuelles d'épuration, à savoir l'épuration en continu et celle en discontinu. Dans la première, après remplissage du bassin, l'eau est renouvelée avec de l'eau ozonée. Le débit alors utilisé correspond entre 10 et 20 % du volume du bassin par heure. Dans la méthode en discontinu, le bassin est rempli avec de l'eau de mer préalablement ozonée ; celle-ci est évacuée après un certain temps, pour être remplacée à nouveau par de l'eau traitée, selon une fréquence variable, en pratique, cette fréquence dépend de la saison et des coquillages à épurer, mais en général elle est de 2 à 3 fois par jour ; avant chaque remplissage, les coquillages sont nettoyés au jet d'eau sous pression. Quelque soit le mode d'épuration, l'eau après avoir séjourné dans les bassins, n'est jamais recyclée mais rejetée dans le milieu naturel, quant au temps de séjour des coquillages, il est fonction de plusieurs paramètres comme leur nature, leur degré de pollution et la saison. Cependant, les coquillages séjournent au minimum 48 h dans les bassins.

Il faut rappeler que le but de l'épuration est d'éliminer la pollution des coquillages ; pour ce faire, ces derniers, en absorbant l'eau de mer exempte de germes pathogènes, rejettent peu à peu les éléments indésirables éventuellement présents en eux. Tout bon système d'épuration doit donc s'accompagner d'un bon circuit hydraulique dans le cas d'un traitement en continu. Il est en effet nécessaire d'évacuer l'eau contaminée afin d'éviter toute réinfection des coquillages eux-mêmes. Les premières observations vont porter sur l'épuration des coquillages en discontinu.

Epuration en discontinu.

Il est bien connu que l'ozonation entraîne une oxygénation non négligeable du milieu liquide, ainsi la figure 10 montre le taux élevé d'oxygène dissous, par ailleurs plus important l'hiver que l'été. Pendant la période froide les valeurs, ainsi que la cinétique de disparition de l'oxygène dissous pendant les premières heures, sont identiques qu'il s'agisse de moules ou d'huîtres, de deuxième ou de troisième bain.

Des constatations très différentes peuvent être effectuées l'été : en effet, dans le cas des huîtres, le taux d'oxygène dissous décroît rapidement puis de plus en plus lentement, aussi bien pour le deuxième que pour le troisième bain. Par contre, dans le cas des moules, si la chute de l'oxygène est lente au début, elle s'accroît ensuite. Ce phénomène est très net dans le cas du troisième bain puisque la diminution atteint 30 % après 1 h, au lieu de 8 % pour le deuxième bain. Des expériences complémentaires seraient nécessaires afin de vérifier cette tendance, mais en tout état de cause, la cinétique de disparition de l'oxygène dissous est plus rapide l'été que l'hiver.

La figure 11 permet de visualiser l'évolution des oxydants totaux au cours de l'épuration des huîtres en discontinu pendant la période estivale ; dans ce cas, les coquillages ont séjourné pendant deux jours dans le bassin d'épuration et subi 5 bains successifs. Au vu des résultats, plusieurs constatations se dégagent :

les écarts entre les valeurs mesurées sur l'eau en tête et en queue de bassin tendent à diminuer avec les bains, quelque soit le bain, la réduction des oxydants totaux est beaucoup plus forte en présence qu'en l'absence d'huîtres, ce qui traduirait une consommation propre aux coquillages,

le résiduel de brome varie selon le bain dans l'eau de mer : ceci est le reflet d'un temps de séjour variable dans le réservoir après ozonation,

pendant la première journée, la diminution des oxydants totaux est rapide au début de chaque bain, puis elle se ralentit progressivement. Au contraire, le résiduel de brome semble décroître linéairement pendant la deuxième journée (bains 4 et 5). Ceci peut s'expliquer par le début d'une faible mortalité des coquillages constatée la deuxième journée : ainsi, il y aurait une demande en brome supplémentaire, créée par l'oxydation de la chair des coquillages.

Cette hypothèse semble confirmée par la figure 12 qui montre la réduction des oxydants totaux pour chaque bain en fonction du temps. L'hiver, en effet, alors qu'aucune mortalité n'a été constatée, le temps nécessaire pour la disparition de 90 % du résiduel de brome augmente avec les bains, puisqu'il est successivement de 1 h 24, 1 h 30, 2 h, 2 h 18 et 2 h 30. L'été, ce même paramètre devient : 1 h, 1 h 54, 54' et 42'. Ce phénomène est encore plus net dans le cas des moules (fig. 12) : l'hiver, 2 h 06 pour le premier bain, 1 h 42 pour le 2ème, 1 h 35 pour le 3ème, 2 h 36 pour le 4ème et 2 h 42 pour le 5ème, sont nécessaires pour atteindre une diminution de 90 % des oxydants totaux ; il est à noter que ce temps (plus faible pour le 2ème et le 3ème bain) correspond à la période où les moules ont frayé dans l'eau, ce qui s'est traduit par une consommation temporairement accrue. En période estivale, la disparition de 90 % du résiduel de brome s'effectue en un temps beaucoup plus court, puisqu'en fonction des bains, il est successivement de 54', 1 h 18, 1 h 06, 54' et 42'. Là aussi, le début de mortalité observé à partir du 3ème bain coïncide avec une consommation accrue en oxydants totaux.

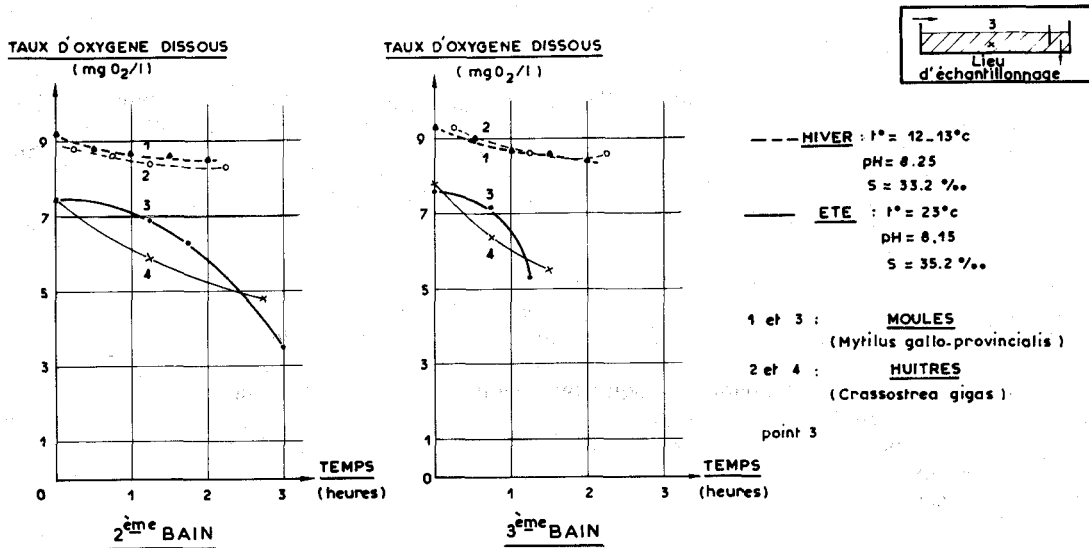


Fig. 10 - Evolution du taux d'oxygène dissous dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée.

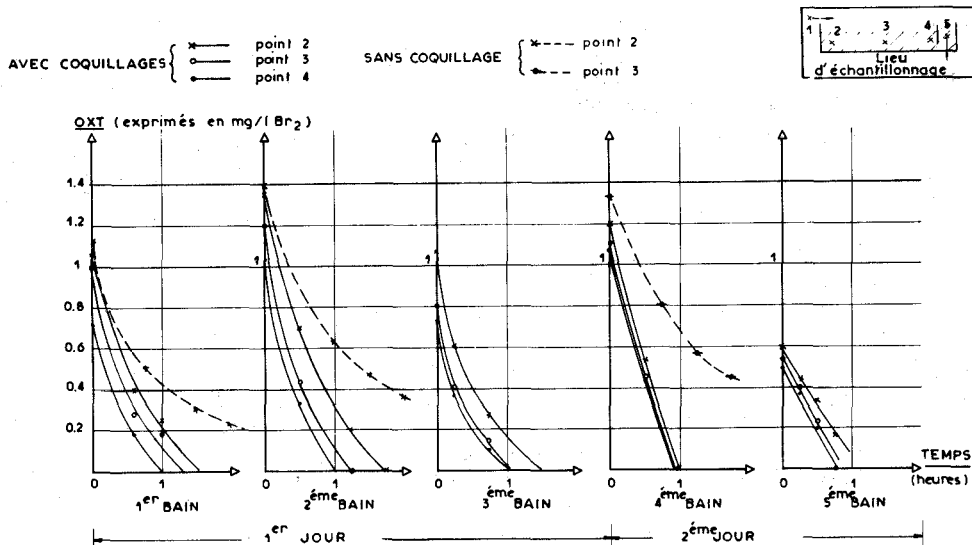


Fig. 11 - Evolution des oxydants totaux (OXT) dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée (période estivale, huîtres : Crassostrea gigas).

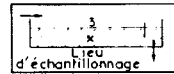
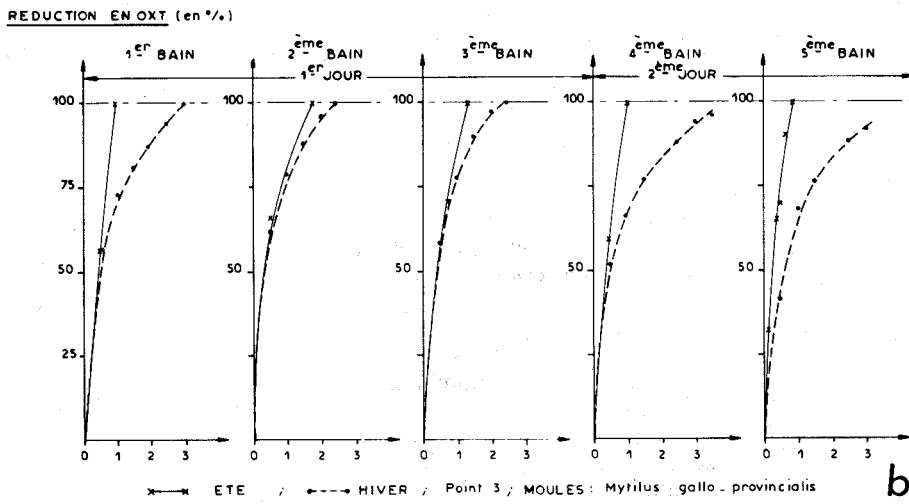
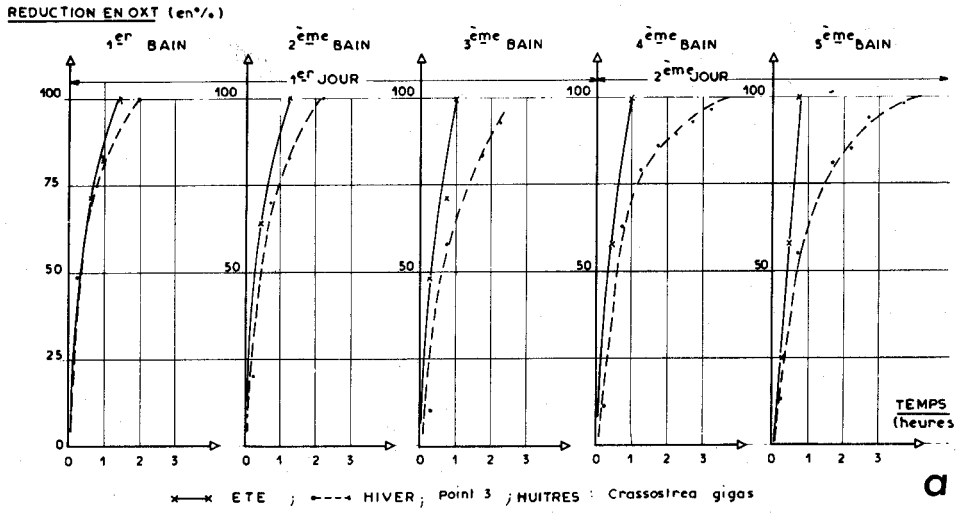


Fig. 12 - Réduction des oxydants totaux (OXT) dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée, en présence d'huîtres (a), en présence de moules (b).

Ces quelques résultats sont résumés dans la figure 13 : la courbe 4 correspond à l'épuration des huîtres l'hiver, elle montre que le résiduel de brome disparaît de plus en plus lentement avec les bains ; cela traduit une oxydation progressive des composés organiques par le brome vu la saleté externe des coquillages. Le fait qu'un palier n'ait pas été obtenu, est une preuve que la seule consommation spécifique des huîtres n'a pas été atteinte. La courbe 2, en montrant une diminution accrue des oxydants totaux à partir du 3ème bain, indique l'influence de la mortalité sur la cinétique de disparition. Il en est de même pour l'épuration des moules l'été et la courbe 1 résume les deux cas précédents : tout d'abord le temps nécessaire pour une réduction de 90 % des oxydants totaux augmente, ceci est dû à l'oxydation progressive des matières organiques du fait de la saleté des coquillages, ensuite l'apparition d'un début de mortalité fait chuter la teneur en brome de l'eau du bassin. Enfin, la courbe 3, qui correspond à l'épuration des moules l'hiver, montre la sensibilité des oxydants totaux aux matières organiques présentes dans le milieu puisque la chute du résiduel de brome correspond à la période de frai des moules.

**TEMPS NECESSAIRE POUR
UNE REDUCTION EN OXT DE 90% (heures)**

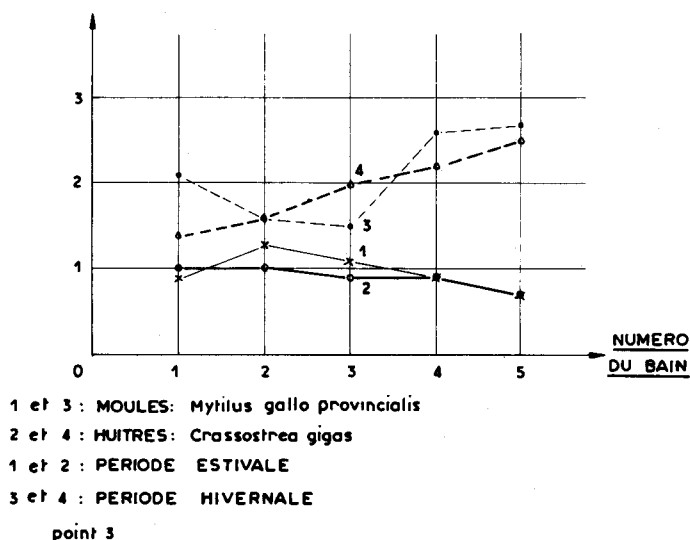


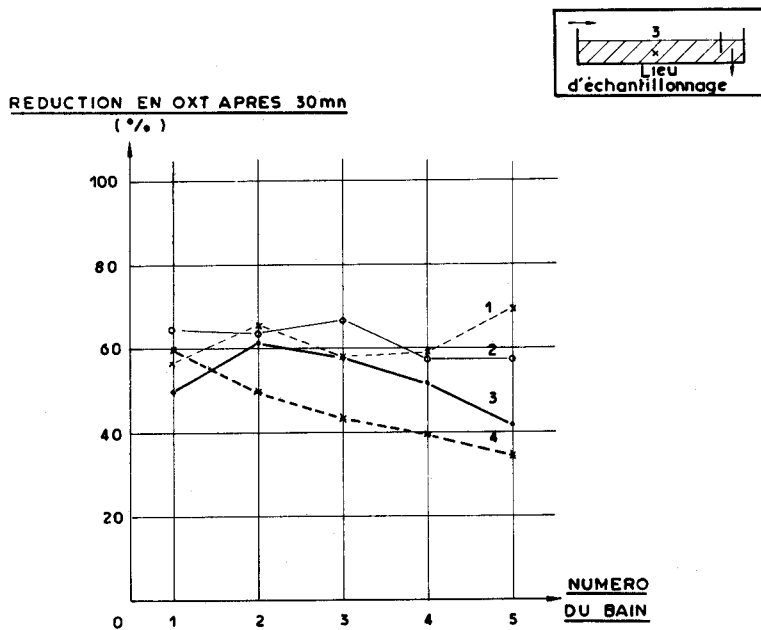
Fig. 13 - Influence du bain sur la réduction des oxydants totaux dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée.

En résumé, il apparaît que la réduction des oxydants totaux est plus importante l'été que l'hiver, et surtout elle est fonction du taux de matières oxydables (fig. 14). En l'absence de tout accroissement de matières organiques la diminution des oxydants totaux est moins forte avec le nombre des bains, cela traduit un degré d'oxydation de plus en plus élevé des matières oxydables essentiellement dues à la saleté externe des coquillages. Néanmoins, il n'a pas été possible de déterminer la consommation spécifique propre à chaque type de coquillages après une épuration de deux jours correspondant à 5 bains successifs : ceci peut s'expliquer d'une part par la faible vitesse de réaction du résiduel de brome, mais aussi par la quantité non négligeable de composés organiques susceptibles d'être oxydés.

Epuration en continu.

Lorsque l'eau de mer est renouvelée constamment, comme c'est le cas lors de l'épuration en continu, on peut s'attendre à une évolution différente des oxydants totaux. La figure 15 montre le pourcentage de réduction du résiduel de brome en fonction du temps de séjour des coquillages dans les bassins pendant l'hiver ; qu'il s'agisse de moules ou d'huîtres, les oxydants totaux diminuent de plus en plus pour atteindre des valeurs relativement constantes après un certain temps : 30 h environ pour les moules, et 23 h pour les huîtres bien que celles-ci soient plus sales extérieurement.

Etant donné la variation des oxydants totaux dans l'eau traitée arrivant dans le bassin, et la difficulté d'effectuer un témoin représentatif, il a été difficile d'estimer la consommation spécifique des moules et des huîtres.



1 et 3 : MOULES : *Mytilus gallo-provincialis*
 2 et 4 : HUITRES : *Crassostrea gigas*
 1 et 2 : PERIODE ESTIVALE
 3 et 4 : PERIODE HIVERNALE

Point 3

TEMPS DE CONTACT : 30mn

Fig. 14 - Réduction des oxydants totaux (OXT) dans un bassin rempli avec de l'eau de mer ozonée.

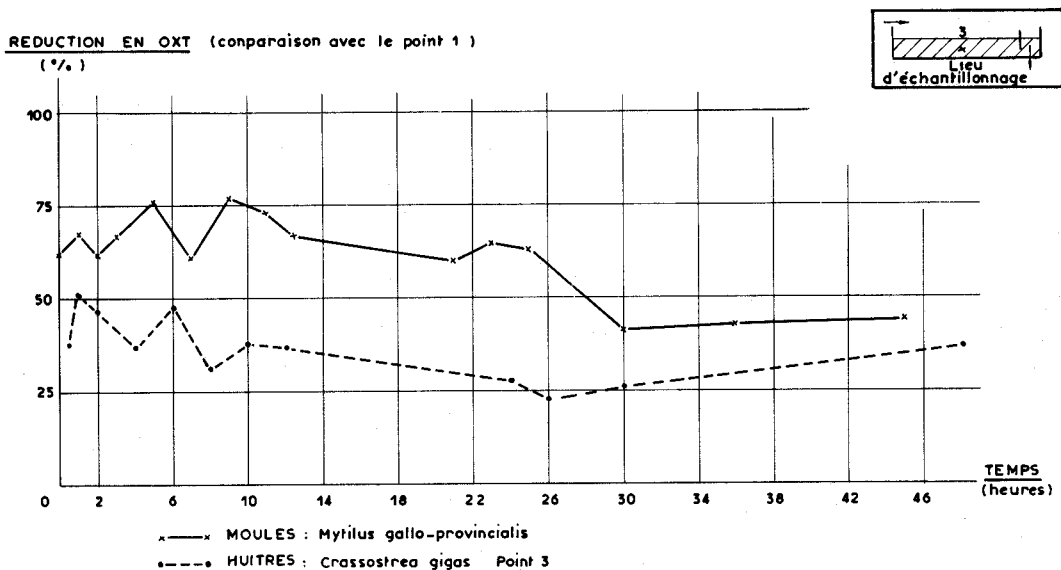


Fig. 15 - Consommation en oxydants totaux (OXT) par des coquillages dans un bassin alimenté en continu avec de l'eau de mer ozonée (période estivale).

Cependant, il se dégage que les moules entraînent une chute plus importante du résiduel de brome que les huîtres, même pendant la période estivale (fig. 16). La consommation des coquillages, calculée en tenant compte de la disparition naturelle des oxydants totaux, tend à diminuer lentement pendant les premières heures dans le cas des moules, cette consommation chute plus rapidement lorsqu'il s'agit d'huîtres ; ainsi, après quatre heures et pour la première moitié du bassin, elle a été de 1,9 mg/l de brome pour les huîtres et de 3,2 mg/l pour les moules. La consommation élevée, dans le cas de celles-ci, peut être expliquée par l'apparition d'une faible mortalité (5 % environ). Cette perte en moules est normale, vu le long voyage effectué en période estivale par ces coquillages qui venaient d'Espagne et qui avaient subi trois retrempages dans des bassins au cours de leur transport. Si l'on effectue la consommation moyenne en oxydants totaux des coquillages contenus dans le bassin, les valeurs suivantes :

pour les moules : 29,6 % l'hiver et 29,2 % l'été
pour les huîtres : 22 % l'hiver et 29,3 % l'été.

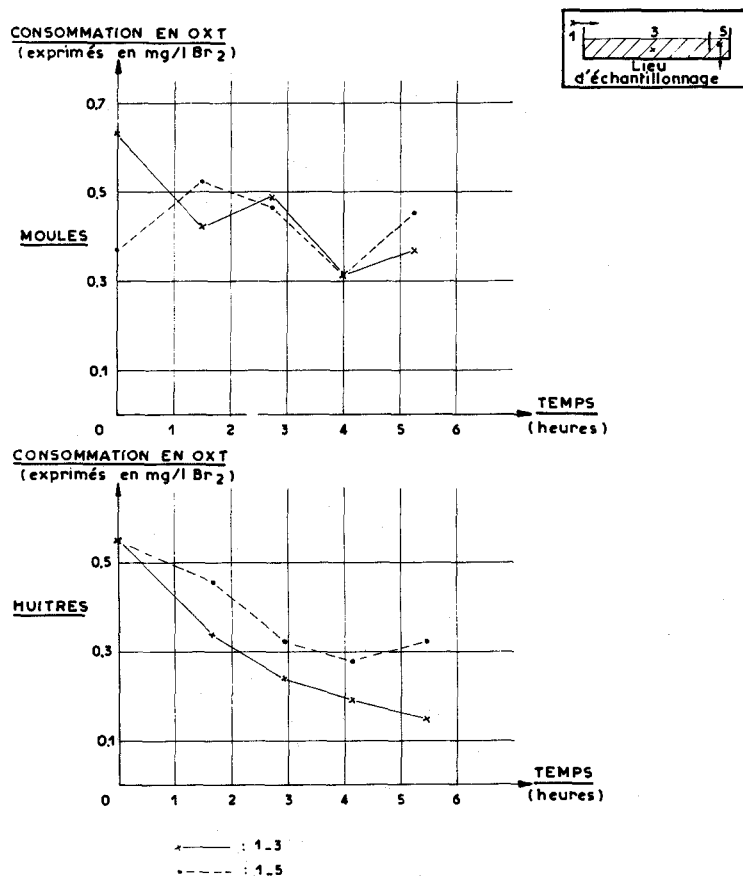


Fig. 16 - Réduction en oxydants totaux (OXT) dans un bassin alimenté en continu avec de l'eau de mer ozonée (période hivernale).

Plusieurs constatations se dégagent :

L'importance de la saleté des coquillages. Ainsi l'été, moules et huîtres étaient à peu près propres, leur consommation était voisine. L'hiver par contre, les moules étaient sales et leur consommation était supérieure à celle des huîtres.

L'augmentation de la consommation l'été. Ce phénomène est net dans le cas des huîtres : à degré de propreté externe comparable l'hiver et l'été, la consommation en oxydants totaux s'est accrue de 25 % environ pendant la période estivale. Le fait que la filtration des coquillages augmente avec la température (optimum : 18°C) peut être une des explications. Il ressort donc que l'espèce huître ou moule n'est pas un facteur primordial dans la diminution des oxydants totaux ; par contre, la capacité de filtration et surtout la saleté externe des coquillages semblent être déterminantes sur le taux des oxydants totaux présents dans l'eau.

Conclusion.

Ces quelques observations ont permis de décrire deux techniques différentes d'épuration des coquillages, à savoir avec ou sans renouvellement en continu de l'eau de mer traitée par ozonation.

L'emploi de l'ozone s'avère être une technique particulièrement bien adaptée au cas de l'épuration des coquillages. En effet, outre la destruction des germes pathogènes de l'eau, l'ozone apporte une quantité non négligeable d'oxygène dissous bénéfique aux coquillages. D'autre part, cette technique n'entraîne la formation d'aucun goût ni odeur susceptible d'être perçus par le dégustateur. L'étude a permis de montrer que, dans les conditions réelles d'utilisation, il n'y a pas de résiduel d'ozone dissous libre ni bromates dans l'eau au niveau des bassins. Par contre un résiduel oxydant peut être mesuré, ce dernier se compose essentiellement d'acide hypobromeux et d'ions hypobromites. La durée de vie de ce résiduel de brome varie selon le mode d'épuration, et la présence de matières oxydables ainsi que l'élévation de la température de l'eau favorisent sa disparition. Les coquillages eux-mêmes participent à la consommation, sans qu'aucun effet nocif ne semble être induit. Dans le cadre d'une autre étude, il serait intéressant d'étudier la chair des coquillages afin de déterminer si la consommation spécifique est due à l'oxydation des matières organiques susceptibles d'être rejetées, ou à une fixation tissulaire. Des études complémentaires permettraient aussi de préciser l'influence de la filtration, et cela en utilisant d'autres coquillages (comme les palourdes, les coques...) ayant des débits de filtration différents de celui des moules et des huîtres.

Enfin, en l'absence de toute étude statistique dans ce domaine, il semble que l'épuration en continu soit à même d'apporter de meilleurs résultats pour l'épuration des coquillages. En effet, l'eau après avoir été polluée est éliminée continuellement et remplacée par de l'eau de qualité parfaite. Il nous paraît seulement recommandable d'avoir un bassin de rétention entre l'ozonation et les bassins d'épuration, de façon à ne pas avoir de valeur élevée en oxydants totaux : 0,1 mg/l semble être une valeur raisonnable dans le cas de l'épuration en continu, cette valeur peut être plus élevée dans l'autre cas puisque l'eau de renouvellement n'est pas introduite constamment. La présence de ce résiduel de brome témoigne alors d'un milieu désinfectant.

Le développement de la culture des coquillages parallèlement à la consommation accrue de ceux-ci, l'augmentation de la pollution organique, bactérienne et même virale, le fonctionnement satisfaisant et les bons résultats obtenus avec les stations d'épuration actuelles utilisant l'ozone, sont autant d'arguments en faveur du développement de l'épuration avec ozonation de l'eau de mer, afin d'offrir en toute sécurité, un produit de qualité au consommateur.

Article publié dans « *Science and Engineering* », 1979, 1 : 147-165.

BIBLIOGRAPHIE

- Blogoslawski (W.J.), Thurberg (F.P.) et Dawson (M.A.),** 1973. – Ozone inactivation of a gymnodinium breve toxin. – *Water Res.*, 7 (11) : 1701-1703.
- Blogoslawski (W.), Farrell (L.), Garceau (R.) et Derring (P.),** 1975. – Production of oxidants in ozonized seawater – *Proceedings of the second international symposium on Ozone Technology*. International Ozone Institute, Montreal, Canada, may 1975.
- Blogoslawski (W.J.), Thurberg (F.P.), Dawson (M.A.) et Beckage (M.J.),** 1975. – Ozone disinfection of a seawater supply system – *Proceedings first international symposium on Ozone for Water and Wastewater Treatment* : 674-687.
- Blogoslawski (W. J.) et Stewart (M.E.),** 1976. – Marine applications of ozone water treatment. – *Proceeding of the Forum on Ozone Disinfection*, Chicago, U.S.A., June 1976.
- Combs (J.) et Blogoslawski (W.J.)** , 1975. – Effects of ozone on a marine occurring yeast, sporobolomyces. – *Aquatic Applications of Ozone*, international Ozone Institute, Syracuse, U.S.A., p 43-49.
- Creelius (E.A.),** 1977. – The production of bromine and bromate in seawater by ozonation. – *Symposium on advanced Ozone Technology*, Toronto, Canada, November 16-18, 1977.
- Dawson (M. A.), Thurberg (F.P.), Blogoslawski (W.J.), Sasner (J.J.) et Ikawa (M.),** 1974. – Inactivation of paralytic shellfish fish poison by ozone treatment. – *Proceeding of food-drugs from the Sea Conference* : 152-157.

- Fauvel (Y.)**, 1973. - Nouvelles observations sur l'utilisation de l'ozone comme agent stérilisateur de l'eau de mer pour l'épuration des Coquillages. - *Communication de l'Institut scientifique et technique des Pêches maritimes*, Sète, France : 1-6.
- Fauvel (Y.)**, 1977. - Utilisation de l'ozone en ostréiculture et dans les industries connexes. - *3ème Congrès de l'Institut international de l'Ozone*, Paris 4-6 mai 1977
- Havemeister (G.), Jentsch (F.)**, 1971. - Ozon-Aktivkohle Behandlung von Schwimmbad Meerwasser. - *Arch. Hyg.*, **154** (5) : 447-461.
- Jentsch (F.)**, 1973. - Redoxpotential ant Keimtötung in gechlortem Meerwasser. - *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig.* B **157** : 304-312.
- Kolthoff (I.M.) et Lingane (J. J.)**. - Polarography. - New-York : Inter-Science Publishers, 2nd Edit., 2 : 573-584.
- Ladouce (R.), Fauvel (Y.) et Boury (M.)**, 1958. - Technique de l'épuration des coquillages. - *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.* n° 58.
- Macalady (D.L.), Carpentier (J.H.) et Moore (C.A.)**, 1977. - Sunlight-induced bromate formation in chlorinated seawater. - *Science*, **195** : 1335-1337.
- Maclean (S. A.), Longwell (A.C.) et Blogoslawski (W.J.)**, 1973. - Effects of ozone treated seawater on the spawned, fertilized, meiotic and cleaving eggs of the American oyster. - *Mutation Res.*, **21** : 283 - 285.
- Rook (F. J.), Gras (A.A.), Van Dre Heijden (B.G.) et De Wee (J.)**, 1978. - Bromide oxidation and organic substitution in water treatment. - *J. Environ. Sci. Health*, AL 3, 3 (91) : 116.
- Salmon (J.), Le Gall (J.) et Salmon (A.)**, 1937. - Note préliminaire sur quelques expériences d'assainissement des mollusques marins comestibles par l'eau de mer ozonisée. - *Ann. Hyg.*, **1** : 44 - 50.
- Williams (P.M.), Baldwin (R.J.) et Robertson (K.J.)**, 1978. - Ozonation of seawater : preliminary observations on the oxidation of bromide, chloride and organic carbon. - *Water Res.*, **12** : 385-388.
-