

**Zeitschrift:** Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit

**Band:** 38 (1947)

**Heft:** 2-3

**Artikel:** La désinfection instantanée des eaux potables par ozonation

**Autor:** Torricelli, Alfred

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-983027>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# La désinfection instantanée des eaux potables par ozonation

par *Alfred Torricelli*

(Laboratoire du Service fédéral de l'Hygiène publique à Berne)

## *Les meilleurs procédés d'épuration des eaux potables*

Les propriétés bactéricides puissantes de l'ozone sont connues depuis long-temps déjà et les premières tentatives d'application pratique à la désinfection d'eaux d'alimentation par ce moyen datent de bientôt un demi siècle.

C'est surtout en France que des efforts méritoires furent entrepris, dans l'entre-deux-guerres, en particulier à partir de 1930, pour doter plusieurs villes d'usines d'ozonation des eaux en recourant au procédé *Otto* dont le principe consiste à mélanger aussi intimement que possible, au moyen d'un émulseur et dans une colonne de self-contact, de l'air ozoné avec l'eau à purifier. Les résultats doivent avoir été satisfaisants puisque successivement des villes comme Nice (1906 et 1930), Chartres (1908 et 1931), Toulon (1921), Brest (1923), Nancy (1932) et de nombreuses autres purent être desservies par des installations d'épuration des eaux par l'ozone.

Dans d'autres pays on semble s'être moins intéressé au nouveau système d'épuration des eaux.

En Allemagne, à peu d'exceptions près, on s'en tint surtout à la javellisation et à la chloration par le chlore gazeux, deux procédés qui ont rendu de grands services et offrent en outre l'avantage de pouvoir être appliqués au moyen d'installations relativement simples et peu coûteuses.

Aux Etats-Unis on apporta un perfectionnement sensible à la chloration par l'introduction du système de la préamonisation. Cette préamonisation consiste à additionner l'eau d'ammoniaque avant sa chloration, afin d'empêcher le développement de l'odeur exécrable du chlorophénol qui se dégage de certaines d'entre elles à la suite de la chloration et pour pouvoir en cas de nécessité forcer un peu la dose de chlore sans courir le risque de laisser apparaître l'odeur désagréable de ce gaz, perceptible déjà lorsque l'eau en contient 0,1 mg. par litre. La nouvelle méthode américaine fit école dans son pays d'origine et au-delà des frontières. Il faut reconnaître qu'elle constitue un perfectionnement considérable du procédé d'épuration au chlore. Par l'emploi de doses plus élevées de chlore fixées par de l'ammoniaque (formation de chloramines) on est parvenu à augmenter l'action bactéricide du chlore, il est vrai au détriment de la rapidité de destruction des germes.

En Suisse on ne fit que suivre l'exemple allemand (chloration simple) ou américain (chloramonisation). L'ozonation est pratiquement inconnue chez nous et fut complètement mise de côté, bien à tort.

Du point de vue de la santé publique le remplacement par l'ozonation des procédés de javellisation, de verdunisation et de chloration directe est bien désirable. L'ozonation a été vivement recommandée en France par le Dr. Roux, directeur de l'Institut Pasteur à Paris, et par le Dr Calmette, directeur de l'Institut Pasteur à Lille. Tous deux ont reconnu et déclaré en 1933 que le traitement des eaux par l'ozone était le meilleur des procédés de stérilisation connus. Cette affirmation s'appuyait d'une part sur le pouvoir abiotique de l'ozone, de l'autre sur le fait que l'ozone n'apporte dans l'eau aucun élément étranger. En outre, autre considération importante, l'ozone n'est en aucun cas générateur de mauvais goûts, ce qui constitue une incontestable supériorité sur les traitements utilisant le chlore.

Si les possibilités intéressantes d'épuration des eaux d'alimentation par l'ozone n'ont pas été exploitées jusqu'à ce jour en Suisse cela provient pour une bonne part d'une routine, encouragée par l'offre étrangère de bonnes installations de chloration toutes prêtes à des conditions avantageuses, et au fait qu'il est rarement nécessaire chez nous de procéder à une surchloration dont on connaît tous les inconvénients, nos eaux étant la plupart du temps assez peu souillées.

A beaucoup le procédé d'ozonation des eaux semble avoir paru trop coûteux. Cette crainte, peut-être justifiée en partie il y a 20 ou 30 ans, ne l'est certes plus aujourd'hui grâce aux progrès de la technique de construction des appareils producteurs d'ozone.

Un autre facteur qui a certainement influencé l'emploi de l'ozone est le manque de renseignements détaillés précis sur le pouvoir bactéricide réel de ce gaz dans son application pratique à la désinfection des eaux. Il est par conséquent bien compréhensible que l'ingénieur responsable appelé par exemple à doter d'eau potable une ville se soit toujours tourné vers une méthode de désinfection sur laquelle il pouvait se procurer une abondante bibliographie contenant toutes les précisions désirables relatives à l'efficacité du procédé de désinfection qu'il désirait appliquer. La documentation sur les résultats de la désinfection des eaux potables par les procédés à base de chlore est abondante tandis qu'au contraire celle qui traite de l'emploi de l'ozone comme agent stérilisant manque de précision quant au détail des résultats bactériologiques. Le scepticisme marqué à l'endroit de l'ozone n'a rien d'étonnant, mais il est regrettable. C'est pourquoi il m'a paru utile de procéder à un certain nombre d'expériences tendant à compléter la documentation sur le pouvoir bactéricide de l'ozone lorsqu'on emploie des procédés accessibles à la technique pour purifier des eaux potables.

Du point de vue protection de la santé, si l'on admettait a priori l'égalité entre les actions bactéricides des procédés au chlore et ceux à l'ozone, auquel des deux doit-on donner la préférence? Aucune hésitation n'est possible. C'est l'ozone qui l'emporte. Voici pourquoi:

Par la chloration, que ce soit la javellisation (traitement à l'hypochlorite de soude) ou la chloration au gaz chlore avec ou sans préamonisation, on modifie

sensiblement la composition chimique de l'eau en y introduisant des éléments nouveaux dont l'innocuité est très contestée.

L'ozonation au contraire, sans modifier la composition minérale de l'eau, améliore sensiblement sa qualité en réduisant son taux de matières organiques, rendant par là ces eaux moins sujettes aux pollutions ultérieures et par la suite moins altérables.

A côté de son pouvoir abiotique l'ozone présente une incontestable supériorité sur tous les traitements utilisant le chlore comme élément actif stérilisant puisqu'il n'est, comme nous l'avons déjà fait remarquer, en aucun cas générateur de mauvais goûts et n'apporte à l'eau aucun élément étranger. L'eau ozonée se trouve au contraire énergiquement aérée et aucun élément minéral ne lui est enlevé. Les dernières traces d'ozone dissous disparaissent rapidement aussitôt que l'eau traitée se trouve exposée à l'air libre. Elle reprend alors immédiatement sa saveur primitive, et si l'on a à faire à une eau fortement souillée, on constate même une destruction de mauvais goûts et l'amélioration nette de ses propriétés olfactives et gustatives.

Au nombre des divers procédés préconisés pour désinfecter les eaux d'alimentation nous retiendrons les principaux suivants:

- 1<sup>o</sup> Ebullition et autres moyens de destruction des germes par la chaleur.
- 2<sup>o</sup> Chloration sous ses formes diverses (javellisation, verdunisation, chloration par le gaz chlore avec ou sans préamonisation).
- 3<sup>o</sup> Procédés aux permanganates.
- 4<sup>o</sup> Procédés oligodynamiques, utilisant l'activité oligodynamique de certains métaux, l'argent surtout.
- 5<sup>o</sup> Exposition aux rayons ultra-violets.
- 6<sup>o</sup> Ozonation.

Le but de cette étude n'étant pas l'examen approfondi de tous ces procédés, je me bornerai par conséquent à les citer rapidement en passant, sans m'y arrêter plus qu'il ne faut.

#### *1<sup>o</sup> Procédés utilisant la chaleur*

L'ébullition de l'eau est un procédé à la portée de chacun, absolument efficace, mais irréalisable en grand. De plus l'eau bouillie n'a plus la saveur agréable de l'eau fraîche non traitée. D'autres procédés qui évitent l'ébullition sont très efficaces, mais restent trop coûteux.

#### *2<sup>o</sup> Procédés de chloration*

Une abondante bibliographie existe sur l'emploi du chlore ou de substances où le chlore joue le rôle d'élément actif. Si ces procédés donnent de bons résultats bactériologiques lorsqu'on laisse au chlore le temps nécessaire pour déployer

son action bactéricide, on est bien forcé d'admettre qu'aucune de ces méthodes ne constitue une solution idéale au point de vue hygiénique.

Par la chloration on communique très facilement à l'eau traitée une odeur repoussante lorsqu'il faut utiliser pour sa désinfection des doses de chlore dépassant 0,1 mg. par litre. Par la préamonisation (addition d'ammoniaque avant la chloration) on parvient à supprimer en grande partie cet inconvénient sans diminuer l'effet bactéricide; elle ralentit tout d'abord la désinfection pour finalement la rendre plus parfaite.

On peut aussi supprimer l'excès de chlore d'une eau traitée en la filtrant sur du charbon actif. De cette manière on obtient une désodorisation mais on ne parvient pas à redonner à l'eau la saveur primitive agréable d'une bonne eau de source.

La présence de traces de chlore et la formation dans l'eau épurée de composés chimiques nouveaux, à la longue nuisibles à la santé, doivent inciter toujours plus l'hygiéniste à se tourner vers de nouveaux procédés d'épuration satisfaisant à la fois aux trois conditions essentielles suivantes:

- 1<sup>er</sup> Désinfection parfaite, c'est à dire anéantissement de tous les germes pathogènes;
- 2<sup>er</sup> Conservation à l'eau d'une saveur agréable d'eau de source;
- 3<sup>er</sup> Garantie d'une innocuité absolue.

Aucun des procédés à base de chlore ne remplit vraiment toutes les conditions énumérées, les postulats 2 et 3 ne pouvant être satisfaits.

### *3<sup>er</sup> Procédés aux permanganates*

La désinfection par l'emploi de permanganates (*K* et *Ca*), suivie au bout d'un temps déterminé de l'élimination de l'excédent de permanganate par l'hyposulfite de soude, est un procédé à n'utiliser qu'en cas de nécessité, pour des troupes en campagne isolées par petits groupes. Les procédés aux permanganates ne sauraient être recommandés.

### *4<sup>er</sup> Procédés oligodynamiques*

L'action oligodynamique de certains métaux, en particulier l'argent, est utilisée avec succès pour la désinfection des eaux. Doués d'un pouvoir hautement bactéricide, les *ions Ag* sont libérés dans l'eau par le métal lui-même ou par des sels de ce métal. Le «système Katadyn» repose sur ce principe. La désinfection de l'eau dans des conditions normales exige en général plusieurs heures mais est parfois défavorablement influencée par des composés sulfurés provenant de certaines matières organiques en putréfaction. On assure et règle le dégagement des *ions Ag* au moyen d'une électrode d'argent. Le procédé ne semble devoir être utilisé que pour des eaux bien filtrées et de composition connue invariable,

dont on connaît bien les éléments de souillure. La désinfection, très lente, n'offre pas en toutes circonstances la sécurité désirable.

### 5<sup>o</sup> Procédé utilisant l'action des rayons ultra-violets

Les rayons ultra-violets ont une action bactéricide très puissante. La désinfection est très rapide, immédiate, et le procédé qui nécessite des appareils encore peut-être trop délicats, a certainement de l'avenir. L'eau à stériliser doit cependant être limpide et bien filtrée. Le principe repose sur l'exposition de l'eau, coulant en couche mince, aux rayons ultra-violets durant un laps de temps très court. Le procédé ne convient toutefois que pour des installations fixes. Il mérite d'être bien étudié car, comme pour l'ozone, il n'y a pas d'introduction de produits chimiques dans l'eau et la saveur de celle-ci n'est d'aucune façon défavorablement influencée.

### 6<sup>o</sup> Procédé d'ozonation

Dès le début de la guerre, en 1939, lorsque je pris sur moi d'organiser pour la première fois dans notre armée un dispositif de lutte contre la guerre bactériologique, le problème de la dotation de nos troupes en eaux potables dites «de sûreté» dans certaines zones vulnérables du pays fut une de mes grandes préoccupations. J'avais pu en effet me rendre compte au cours de mes premières expertises combien eut été grave la situation si nous avions dû entrer en campagne. Je fus amené à faire de nombreuses prospections de sources ou autres points d'eau, soit exposés à une souillure accidentelle naturelle, soit dangereux parce qu'ils pouvaient être atteints directement ou indirectement par un ennemi qui n'aurait pas hésité éventuellement à se saisir de tous les moyens à sa portée pour réduire à l'impuissance des troupes isolées en fortifications solidement établies, qu'il eut été impossible ou difficile de déloger autrement. Une des grandes tâches de notre premier Centre chimique et bactériologique, établi en plein réduit national, était précisément de préserver la santé de nos troupes en empêchant toute atteinte de l'homme par la voie redoutable et détournée des eaux d'alimentation.

Je fus ainsi poussé à étudier les divers moyens de correction d'eaux d'alimentation. Je ne parlerai toutefois ici que de l'emploi de l'ozone comme agent bactéricide pour des eaux *naturellement* souillées, sans m'arrêter aux problèmes militaires proprement dits qui ne font pas l'objet de cette étude.

Attendu que nous manquions en Suisse totalement d'expérience sur l'emploi de l'ozone comme agent stérilisant des eaux il fut impossible pour cette raison de se procurer ou de faire construire au début de la guerre un dispositif de traitement des eaux potables donnant entière satisfaction. Les premiers essais d'appareils construits à peu près selon le principe *Otto*, ou en combinant l'ozonation avec le ruissellement de l'eau sur du charbon actif comme l'avait imaginé un fabricant, livrèrent des résultats décevants. J'attribuais ces pauvres résultats

à l'insuffisance d'un contact intime immédiat de l'ozone avec l'eau à désinfecter. L'émulseur *Otto*, employé en France dans plus de cent usines d'épuration d'eau, assure sans doute un contact plus intime de l'ozone avec chaque particule d'eau et ce contact ozone-eau se prolonge assurément pendant un certain temps dans la colonne dite de self-contact.

Tandis que sur la désinfection de l'eau potable au moyen des procédés utilisant le chlore comme élément actif, on trouve une abondante bibliographie, nous avons vu qu'il en était autrement pour la désinfection à l'ozone. De ce dernier procédé j'ai pu seulement apprendre qu'il avait donné d'excellents résultats en France, sans parvenir à connaître exactement le détail des résultats bactériologiques atteints.

Voulant être fixé sur la valeur réelle du pouvoir bactéricide de l'ozone dans la désinfection des eaux potables, je me suis engagé dans une série d'expériences tendant à établir les conditions les plus favorables à une ozonation des eaux et les résultats qui véritablement peuvent être escomptés.

Nous verrons plus loin qu'en imprégnant suffisamment longtemps avec de l'ozone une eau souillée on parvient à la stériliser, détruisant même les spores les plus résistantes en moins d'une heure. Avec le chlore, par contre, on subit des échecs après plus de 24 heures de contact, même en employant des doses massives considérablement supérieures au maximum admissible pour épurer les eaux les plus fortement contaminées.

Dans des conditions normales de désinfection d'une eau destinée à l'alimentation on ne vise pas dans la règle la destruction des éléments sporulés. On cherche essentiellement à exterminer les formes microbiennes végétatives parmi lesquelles se rencontrent précisément toutes les bactéries pathogènes de l'homme pouvant exister dans des eaux naturellement polluées.

Un facteur non négligeable dans la désinfection de l'eau est le temps nécessaire à cette opération. Les procédés au chlore, surtout s'ils sont complétés par la préamonisation, obligent chacun à une attente prolongée avant de pouvoir boire sans danger l'eau traitée. Ce temps varie de quelques heures à 24 heures ou davantage, selon les doses de chlore employées et le degré de souillure de l'eau.

S'il ne résulte généralement aucun inconvénient de cette attente parce que l'eau épurée est presque toujours rassemblée dans de vastes réservoirs où elle séjourne plus ou moins longtemps, il n'en n'est pas de même lorsqu'on désire ou que l'on doit même consommer sans délai l'eau fraîchement traitée, c'est à dire dans les cas où l'accumulation en réservoir n'est pas possible. Ces éventualités peuvent se présenter par exemple pour des troupes en campagne auxquelles il faut pouvoir rapidement mettre à disposition une eau fraîche, agréable et pure prélevée d'une source ou d'un ruisseau quelconque dont on ne connaît même pas le degré de pollution par des agents microbiens pathogènes. Une installation, montée par exemple sur camion-automobile, dotée d'un réservoir régulateur limité en volume à la charge admise pour le véhicule, pompant d'une part l'eau du ruisseau ou de la rivière, et la livrant d'autre part sans délai, après filtration

rapide et désinfection parfaite, à toute une unité de troupe, présenterait un avantage incontestable sur tout ce dont nous disposons à l'heure actuelle.

Dans la vie domestique, aussi bien dans notre pays, à la campagne surtout, que dans les pays tropicaux ou subtropicaux, le cas peut se présenter où des foyers domestiques sont contraints d'utiliser une eau douteuse, voire dangereuse, provenant soit d'un point d'eau de propriété privée échappant à tout contrôle régulier officiel soit d'un réseau d'alimentation défectueux ou suspect. La possibilité de greffer sur la canalisation un dispositif efficace et peu encombrant permettant la désinfection instantanée de l'eau qui la traverse deviendrait un réel bienfait, étant un élément de sécurité contre toutes les malades infectieuses redoutables transmissibles à l'homme par la voie des eaux.

Considérant surtout ces cas particuliers où une désinfection rapide de l'eau est souhaitable, sinon indispensable, j'ai voulu déterminer par une série d'expériences s'il était possible, au moyen de l'ozone, d'obtenir ce qu'il serait vain de tenter avec le chlore par exemple: la *désinfection instantanée ou immédiate de l'eau*.

Dans cette communication, sans m'attarder inutilement aux essais et tâtonnements préliminaires inévitables, je résume simplement les résultats obtenus à ce jour. Comme on le verra, ces résultats confirment pleinement mon attente.

Je pus facilement me rendre compte, déjà au cours des premiers essais d'orientation, que la condition essentielle d'une bonne désinfection de l'eau était de mettre la plus petite particule d'eau au contact de l'ozone, avant que celui-ci ne s'échappe ou ne se décompose. C'est ainsi qu'en projetant l'eau à désinfecter sous forme de véritable *brouillard* dans une atmosphère d'air ozoné de concentration suffisante on parvient instantanément à une parfaite désinfection. Mais l'inconvénient de mon procédé de *stérilisation par pulvérisation de l'eau* est de ne pouvoir traiter des masses considérables d'eau si l'on ne dispose pas de chambres spacieuses pour cette opération. Le débit en eau de l'éjecteur pulvérisant est faible. Par l'installation de batteries d'éjecteurs on peut il est vrai obvier à cet inconvénient. Ces expériences en laboratoire sont difficiles à exécuter. Je crois toutefois à l'utilité de reprendre cette question.

Les tentatives faites pour augmenter le débit des éjecteurs sans diminuer sensiblement le pouvoir abiotique de la même quantité d'ozone utilisée conduisirent à la construction de l'éjecteur à couronne Ronzi (fig. 2) mis aimablement à ma disposition par le constructeur. Par ce dispositif l'eau sous pression, après avoir parcouru à l'intérieur de l'éjecteur une série de canaux très fins hélicoïdaux qui lui impriment un mouvement giratoire, s'échappe d'une fine ouverture circulaire en une nappe cylindrique réduite à l'épaisseur d'un film très mince. Au centre de la couronne se place l'orifice d'arrivée de l'air ozoné. Le mouvement giratoire imprimé à l'eau aidant, la nappe d'eau sortant de l'éjecteur prend aussitôt l'aspect d'une ampoule au sein de laquelle se voit emprisonné l'air ozoné, sous légère pression. La saturation de l'eau par l'ozone est immédiate en raison de la faible épaisseur de la couche liquide, et la désinfection

à un taux très élevé s'effectue pratiquement instantanément comme le montrent les protocoles des expériences faites avec des eaux fortement polluées par les *bacterium coli* et *staphylococcus aureus*. Ces deux espèces microbiennes furent par moi choisies comme représentants tout indiqués très résistants de deux classes de bactéries, les bacilles et les coccis. Au point de vue de leur résistance aux agents de désinfection elles ne le cèdent en rien à n'importe qu'elle espèce pathogène pouvant se rencontrer dans les eaux souillées naturellement.

A la suite des premières expériences très favorables effectuées au moyen de l'éjecteur à couronne, des perfectionnements ont été encore apportés à ce dispositif d'ozonation instantanée. C'est ainsi que le montage de l'éjecteur sur le col d'un cylindre en verre (fig. 3), possédant à sa partie inférieure une ouverture pour l'écoulement de l'eau, empêche l'ampoule d'eau qui se forme à la sortie de l'éjecteur de se refermer. L'eau, en touchant le bord du col, s'étale en un film encore plus mince ruisselant le long de la paroi du cylindre. Son exposition au gaz ozone est ainsi légèrement prolongée. Le diamètre du cylindre d'expansion en verre, beaucoup plus grand que celui du col, a pour effet d'amenuiser davantage l'épaisseur de la couche d'eau; l'action stérilisante de l'ozone s'en trouve renforcée, comme le prouvent les essais. Par modification des dimensions du cylindre d'expansion on pourra peut-être perfectionner le dispositif, mais il s'agit là de problèmes purement techniques sortant du cadre de mon étude proprement dite. Les résultats acquis sont déjà suffisamment concluants pour justifier ma communication. Il faut espérer que l'emploi de l'ozone pour la désinfection des eaux potables sera remis en vogue à la suite de cette mise au point des plus nécessaire, et que de plus en plus, aussi bien pour raisons d'efficacité que d'hygiène, on renoncera aux procédés portant atteinte aux qualités physiologiques naturelles d'une bonne eau de source.

### *Teneur en bactéries des eaux souterraines et de surface*

Rappelons pro memoria quelques normes utiles au sujet de la souillure naturelle des eaux souterraines et de surface et de l'appréciation de ces eaux au point de vue bactériologique et hygiénique.

Les *eaux souterraines* (eaux de sources, de nappes souterraines) peuvent être aseptiques lorsqu'elles sont protégées par de bonnes couches filtrantes. Leur teneur en bactéries est généralement très faible; il est assez rare d'y trouver plus de 1000 germes par  $\text{cm}^3$  d'eau.

On considère comme irréprochable une eau de nappe souterraine dont le nombre de bactéries par  $\text{cm}^3$  est inférieur à 10 et dans laquelle on ne peut déceler du colibacille typique dans  $100 \text{ cm}^3$ . Les eaux de sources dont le nombre de germes par  $\text{cm}^3$  ne dépasse pas 100 et dans lesquelles on constate régulièrement l'absence de colibacille dans  $20 \text{ cm}^3$  d'eau passent pour être potables, sans danger.

Le nombre de germes au  $\text{cm}^3$  n'entre pas seul en jeu lorsqu'il s'agit d'apprécier la potabilité d'une eau. En effet une eau peut être momentanément assez

pure et se souiller brusquement par intermittence au moment de fortes précipitations atmosphériques en raison de l'insuffisance des couches filtrantes de protection. Tout bien considéré, la régularité de la teneur d'une eau en bactéries est toujours appréciée au même titre que la constance du débit d'une source ou ses fluctuations saisonnières régulières.

Les *eaux de surface* sont très irrégulièrement contaminées. Tout dépend de leur situation. Pour une rivière baignant une ville, la souillure est la plus forte immédiatement en aval de la localité. Par suite du phénomène d'auto-épuration la teneur en bactéries, élevée au sortir de la cité, baisse rapidement un peu plus loin. C'est ainsi qu'une rivière peut par exemple ne charrier que 1000 à 2000 germes par  $\text{cm}^3$  avant de traverser une ville, en avoir 25 000 à 30 000 ou davantage en la quittant, à cause du déversement des égoûts, et redevenir quelques kilomètres plus loin pas plus riche en germes qu'en amont de la localité. Ces chiffres sont donnés ici à titre d'orientation seulement. Ils sont d'ailleurs très variables pour des causes multiples bien trop connues pour qu'on s'y arrête ici.

### *Action bactéricide du chlore dans les procédés de chloration des eaux par le chlore gaz, avec ou sans préamonisation*

Afin de permettre au lecteur de comparer les effets pratiques des procédés rationnels utilisés actuellement pour stériliser des eaux potables par le chlore d'une part, et de l'autre au moyen de l'ozonation selon la méthode appliquée dans mes essais, je citerai ici les résultats extraits du rapport de l'American Waterworks Association sur les expériences qu'elle fit au moment où elle introduisit un important perfectionnement dans la chloratoin des eaux potables: la préamonisation. En vue de faciliter la comparaison avec mes propres expériences d'ozonation, j'ai transformé par le calcul en «taux de désinfection» les chiffres publiés par cette société, lesquels exprimaient en % le taux de destruction des bactéries.

#### *a) Chloration directe, sans préamonisation*

La chloration sans préamonisation ne permet pas d'utiliser des doses de chlore en excès dépassant 0,1 mg. par litre d'eau sans qu'apparaisse dans celle-ci l'odeur exécrable de ce gaz.

De plus, l'odeur pénétrante (odeur de pharmacie, d'iode) du chlorophénol peut venir s'ajouter à celle du chlore si l'eau contient naturellement des traces de phénol pouvant provenir soit du goudron des canalisations soit de plantes en décomposition au lieu du captage de la source. Cette odeur écoeurante naît déjà avec les plus petites traces de chlore. Même la filtration de l'eau chlorée sur du charbon actif ne permet pas d'éliminer l'odeur du chlorophénol.

Pour utiliser des doses de chlore en excès dépassant 0,1 mg./lt. (un excès de 0,1 mg. Cl. correspond à la quantité de chlore restant dans l'eau au bout de

5 minutes de contact du chlore avec l'eau, ou au chlore non fixé dans ce temps par les matières organiques) il est nécessaire de soumettre ensuite l'eau chlorée à un traitement de déchloration consistant en une filtration sur charbon actif, opération peu praticable en grand à cause surtout des frais qu'occasionne la régénération du charbon des filtres.

*Imbaux*<sup>1)</sup> cite dans son ouvrage des chiffres résultants des expériences très complètes effectuées aux Etats-Unis en chlorant l'eau du «Dunne crib tunnel» à Chicago (Gerstein, 1931, Rapport de l'American Waterworks Association). Ces chiffres m'ont permis de calculer les taux de désinfection correspondants.

L'eau à désinfecter qui servit aux essais était souillée par *10 000 Colibacilles au cm<sup>3</sup>*.

Pour une chloration à la dose de *0,1 mg./Cl. par litre* d'eau on a obtenu les taux de désinfection (rapport entre les nombres de bactéries vivantes *avant* et *après* la désinfection) suivants, établis en prélevant des échantillons d'eau au bout de temps déterminés:

	Taux de désinfection	Chlore résiduel mg./lt.
après 5 minutes	66 : 10	0,032
après 24 heures	185 : 1	0,001

En chlorant à *0,2 mg./Cl. par lt.*, ce qui serait la limite supérieure pour une chloration sans préamonisation, il a été obtenu:

	Taux de désinfection	Chlore résiduel mg./lt.
après 5 minutes	303 : 1	0,098
après 24 heures	420 : 1	0,006

Ces résultats ne sont pas satisfaisants du tout. Pour en avoir de meilleurs il a fallu employer des doses de chlore plus massives, et ceci ne peut s'effectuer sans nuire aux qualités de l'eau, au double point de vue santé et saveur.

Voici les résultats de cette surchloration, à la dose de *0,3 mg. Cl./lt.*:

	Taux de désinfection	Chlore résiduel mg./lt.
après 5 minutes	156 : 10	0,16
après 24 heures	500 : 1	0,011

et à celle de *0,4 mg. Cl./lt.*:

	Taux de désinfection	Chlore résiduel mg./lt.
après 5 minutes	1923 : 1	0,27
après 24 heures	7140 : 1	0,04

Les résultats obtenus en employant 0,3 mg. Cl./lt. sont mauvais. Le désinfection commence à devenir intéressante seulement à partir de la dose élevée de 0,4 mg./Cl. p. lt., mais se révèle toutefois encore insuffisante, même au bout de 24 heures de contact avec le chlore. Chlorer avec des doses encore plus fortes serait insensé, à moins de déchlorer ensuite par filtration sur du charbon actif. Mais ce dernier procédé n'est pas recommandable, sinon dans des circonstances exceptionnelles, inéluctables (troupes en cas de guerre).

### b) Chloration avec préamonisation

Comme nous l'avons déjà fait observer ailleurs, c'est actuellement le plus répandu et le meilleur connu des procédés utilisant le chlore.

Les taux de désinfection calculés au moyen des données résultant du rapport de l'American Waterworks Association sont les suivants:

Pour les chlorations aux doses normales de 0,1 et 0,2 mg./Cl. par lt. nous avons,

avec 0,1 mg. Cl	5 minutes	Taux de désinfection au bout de		
		30 minutes	2 heures	24 heures de contact
+ 0,1 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	14 : 10	13 : 1	4 : 1	10 : 1
0,2 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	15 : 10	25 : 1	2 : 1	58 800 : 1
0,3 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	14 : 10	15 : 1	5 : 1	250 000 : 1

avec 0,2 mg. Cl				
+ 0,1 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	23 : 10	11 : 1	200 : 1	1 600 000 : 1
0,2 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	15 : 10	3 : 1	500 : 1	500 000 : 1
0,3 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	1 : 1	4 : 1	52 : 1	125 000 : 1

Sur ces 6 cas de désinfection, 5 donnent un excellent résultat, mais constaté au bout 24 heures de contact seulement. La désinfection est extrêmement ralentie par l'addition de l'ammoniaque. L'action bactéricide est bonne mais très lente. Elle s'améliore encore et devient plus rapide aux doses élevées de chlore si l'on ne modifie pas les quantités d'ammoniaque:

avec 0,3 mg. Cl	5 minutes	Taux de désinfection au bout de		
		30 minutes	2 heures	24 heures de contact
+ 0,1 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	89 : 10	111 : 1	25 000 : 1	5 mill. : 1
0,2 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	6 : 1	8 : 1	28 600 : 1	5 mill. : 1
0,3 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	1 : 1	7 : 1	1 175 : 1	∞ : 1

et avec 0,4 mg. Cl				
+ 0,1 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	213 : 10	400 : 1	333 000 : 1	10 000 : 1
0,2 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	52 : 10	100 : 1	1 mill. : 1	77 000 : 1
0,3 mg. NH <sub>3</sub> /lt.:	49 : 10	14 : 1	12 500 : 1	∞ : 1

Il n'est pas sans intérêt de constater dans ces essais le ralentissement considérable de la désinfection occasionné par la préamonisation. Mais cette désinfection devient cependant à la fin excellente lorsque le temps de contact a été suffisant. Les doses de chlore de 0,3 et 0,4 mg./lt. sont toutefois excessives. La présence du chlore à ces doses peut-elle être masquée? Je ne le pense pas. On observe que le temps nécessaire à une désinfection suffisante se prolonge d'autant plus que les doses d'ammoniaque sont plus élevées par rapport au chlore.

La méthode de chloration avec préamonisation permet d'obtenir une action bactéricide certaine à condition d'être sérieusement contrôlée en permanence.

Si, par ce procédé, nous pouvons obtenir une désinfection excellente, il n'en reste pas moins vrai que certains désavantages de la chloration subsistent, entre autres celui de devoir employer une dose de chlore relativement élevée qui a pour conséquence l'apport à l'eau de produits étrangers dont l'innocuité est incertaine, et celui de la lenteur de l'action bactéricide. Le problème de la qualité physiologique de l'eau reste ouvert. Un fait est certain; si par la chloration avec préamonisation l'on parvient d'une part à éliminer ses dangers d'infection, on altère de l'autre nettement sur d'autres points sa valeur hygiénique et ses qualités gustatives et olfactives.

### *L'ozone au contact de l'eau*

La désinfection de l'eau par l'ozone ne peut pratiquement se faire selon les principes techniques utilisés pour le traitement des eaux par le gaz chlore. Avec ce dernier il suffit en effet d'introduire dans l'eau la quantité voulue de chlore. Celui-ci s'y dissout aisément et l'excédent non entré en réaction reste dans l'eau.

Utilisant l'ozone, il faut agir de toute autre manière. La décomposition de ce gaz dans l'eau peut être très rapide et il s'y dissout aussi en proportion de sa concentration dans le mélange air-ozone ou oxygène-ozone qui est employé pour la stérilisation. Le coefficient de dissolution est de 0,495 à 0° (d'après Rothmund), ce qui signifie en d'autres termes que pour maintenir une quantité déterminée d'ozone dans l'eau l'atmosphère ambiante confinant à sa surface doit constamment être chargée d'ozone à une concentration à peu près double de celle que l'on veut maintenir dans l'eau.

Ceci explique la prompte disparition de tout l'ozone d'une eau ozonée dans un récipient ouvert exposé à l'atmosphère ordinaire.

Si cette propriété de l'ozone de ne pouvoir être maintenu en dissolution dans de l'eau se trouvant au contact d'air non chargé d'ozone oblige à une technique spéciale pour la stérilisation, elle présente néanmoins un avantage considérable: Le gaz ozone, à odeur pénétrante bien connue, ne laisse plus trace de son passage dans l'eau dès que celle-ci vient au contact de l'air libre pendant quelques instants aussitôt l'ozonation terminée. L'eau traitée reste ainsi une boisson irréprochable exempte de saveurs ou odeurs étrangères toujours désagréables, ou de produits nuisibles à la santé.

J'ai procédé aux quelques essais suivants dans le but de mettre en évidence la rapide décomposition de l'ozone en oxygène au contact de l'eau et le degré de stabilité de sa solution aqueuse, sous certaines conditions.

Lorsque de l'eau fraîchement ozonée n'est pas agitée à l'air libre, et se trouve au contraire en récipient non aéré, on parvient à y maintenir dissous pour peu de temps une petite quantité d'ozone. Dans la plupart des cas ce n'est qu'une question de minutes, rarement d'heures. Tout dépend du volume d'eau ozonée par rapport à sa surface de contact avec l'atmosphère ambiante ainsi que des possibilités d'aération.

En dirigeant un mélange d'oxygène-ozone ou d'air-ozone dans un flacon laveur cylindrique à moitié rempli avec 400 cm<sup>3</sup> d'eau distillée, pendant 10 minutes, à raison de 50 litres par heure, et en dosant ensuite successivement à intervalles déterminés l'ozone resté dans l'eau, j'ai obtenu les résultats suivants (fig. 1a):

Quantité d'ozone introduite en 10 min. dans l'eau 222,0 mg.

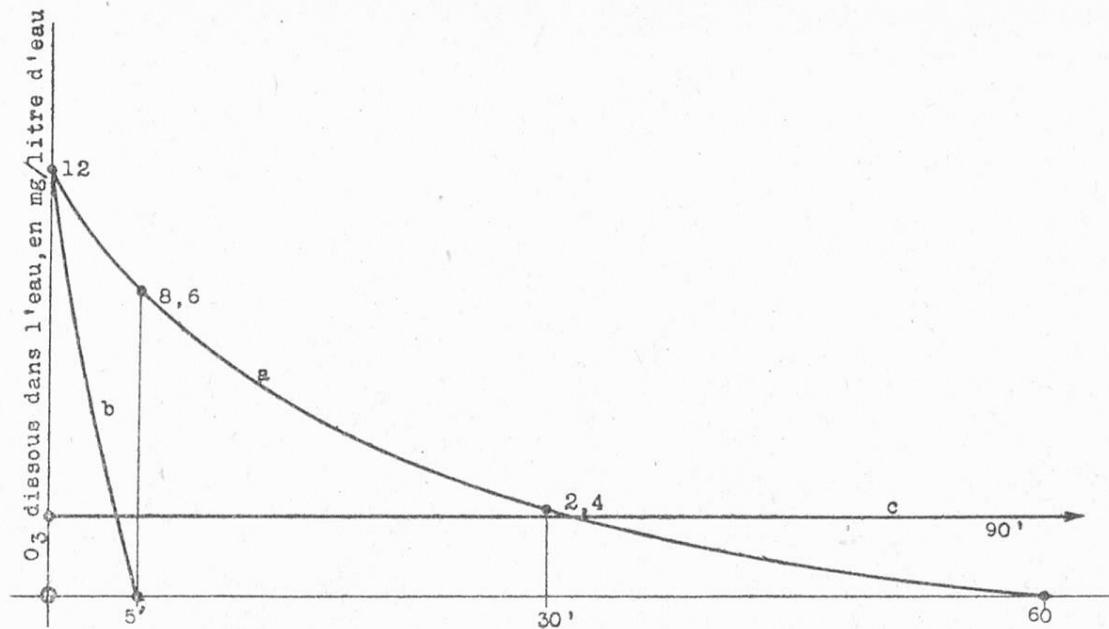
Concentration de l'ozone dans le mélange air-ozone 26,6 mg. p. lt.

Quantité d'ozone dissous:

1 <sup>o</sup> dans l'eau, immédiatement après l'ozonation	12,0 mg. p. lt. d'eau
2 <sup>o</sup> au bout de 5 minutes sans avoir ni agité ni bouché le flacon à ouverture fortement retrécie	8,64 mg. p. lt. d'eau
3 <sup>o</sup> au bout de 30 minutes, dans les mêmes conditions	2,4 mg. p. lt. d'eau
4 <sup>o</sup> au bout d'une heure, dans les mêmes conditions	0 mg. p. lt. d'eau

En admettant un écart possible de 10 % environ dans la mesure du courant d'air ozoné à l'aide de l'instrument insuffisamment précis dont je disposais pour cette expérience, la quantité d'ozone dissous, déterminée au moment même de la cessation de l'ozonation, répond au coefficient de solubilité de *Rotmund* (0,495).

Et si, répétant le même essai, on dose l'ozone résiduel 5 minutes après la fin de l'ozonation, temps durant lequel on fait passer à travers l'eau un courant d'oxygène ou d'air, on constate une désodorisation absolue de l'eau dans laquelle il ne peut plus être décelé chimiquement et olfactivement la moindre trace d'ozone (fig. 1 b). Cet essai montre combien il est aisé de se débarrasser dans un laps de temps très court et par un moyen très simple de tout l'ozone résiduel d'une eau ozonée.



Temps écoulé entre la fin de l'ozonation et les dosages de  $O_3$

a = eau ozonée abondamment au repos, récipient ouvert  
 b = eau ozonée aérée ensuite  
 c = eau ozonée conservée en vase hermétiquement bouché

Fig. 1

Et maintenant si l'on fait une troisième expérience en dirigeant par barbotage d'eau moins 10 minutes de l'air ozoné (50 lt./heure), d'un appareil livrant 0,46 gr.  $O_3$  p. 100 lt. de gaz, dans de l'eau distillée contenue dans un flacon obturé hermétiquement aussitôt que cesse l'introduction du mélange gazeux, après s'être toutefois assuré que la partie vide d'eau du flacon contient de l'ozone dans une concentration correspondant à celle fournie par l'instrument, on a retrouvé dans cette eau, au bout d'une heure et demie, une concentration d'ozone dissous presque égale à la moitié de la concentration en ozone du mélange gazeux utilisé pour la saturation (fig. 1 c).

Par une quatrième expérience j'ai voulu me rendre compte de la rapidité de la décomposition de l'ozone au contact de l'eau distillée.

Cet essai, comme les précédents, a été exécuté à la température du laboratoire ( $15^{\circ}$ ) au moyen d'un ozoneur d'air livrant 0,262 gr. d'ozone au cours d'un débit horaire de 50 lt. d'air ozoné. On a placé en série deux flacons laveurs munis chacun d'une plaque en verre frité pour assurer une répartition homogène et une fine division des bulles gazeuses. Le premier flacon (I) contenait  $380 \text{ cm}^3$  d'eau distillée, le second (II)  $100 \text{ cm}^3$  d'eau distillée additionnée de KJ en excès. Dans le flacon I, lui-même relié au flacon II, on a dirigé un courant d'air ozoné pendant 6 minutes. L'ozone résiduel du flacon I a été déterminé aussitôt (titration par le thiosulfate de soude après addition de KJ et acidification par  $H_2SO_4$ ). Le flacon II, lui, a fixé tout l'ozone qui s'est échappé du flacon I pendant

l'ozonation. On y a dosé le gaz de la même façon. Les résultats furent les suivants:

Ozone dissous dans le flacon I	=	0,96 mg. (= 0,25 mg. p. 100 cm <sup>3</sup> d'eau)
Ozone total absorbé dans le flacon II	=	<u>13,80 mg.</u>
Ozone non détruit en traversant le flacon I	=	<u>14,76 mg.</u>
Quantité d'ozone introduite en 6 minutes dans le flacon I	=	26,16 mg.
Quantité d'ozone retrouvée dans I et II	=	<u>14,76 mg.</u>
Quantité d'ozone décomposée dans le flacon I	=	<u>11,40 mg. (= 43,6 %)</u>

La concentration en ozone du mélange air-ozone étant de 0,52 gr. par 100 lt., nous obtenons par le calcul, en nous basant sur ces résultats d'expérience, un coefficient de dissolution de 0,485. La différence avec le coefficient de Rothmund est négligeable.

Ces quatre expériences nous confirment la rapide décomposition de l'ozone dans l'eau d'une part, et de l'autre son absorption par elle à un taux déterminé par la concentration du mélange air-ozone ou oxygène-ozone ambiant.

### *Influence de l'humidité sur le rendement d'un ozoneur*

Le degré d'humidité de l'air a une influence considérable sur le rendement en ozone d'un ozoneur. Afin de montrer l'avantage résultant de l'emploi d'air sec je cite l'extrait de protocole suivant d'une de mes expériences:

1<sup>o</sup> *Ozonation d'air sec* — Le rendement en ozone d'un petit ozoneur Ronzi muni d'un compresseur d'air est déterminé en séchant préalablement l'air à ozoner sur de l'acide sulfurique concentré. L'appareil a livré 312 mg. O<sub>3</sub>/heure.

2<sup>o</sup> *Ozonation d'air humide du laboratoire* — L'essai est répété dans les mêmes conditions, toutefois sans sécher l'air. L'hygromètre indique, à la température de 18°, une humidité relative de l'air de 78 %. Le rendement de l'appareil fut cette fois-ci de 225,6 mg. O<sub>3</sub>/heure.

La perte d'ozone, en renonçant à sécher l'air, a été de 27,7 %. Il y a par conséquent lieu de tenir compte de ce facteur dans la construction des ozoneurs ou de leur utilisation.

## *Comparaison des actions sporicides du chlore et de l'ozone en milieu aqueux*

Avant de passer à l'exposé de mes essais de désinfection des eaux potables par ozonation je veux mettre en évidence la puissante action sporicide de l'ozone en la comparant à celle du chlore.

Dans la désinfection des eaux potables on ne vise pas la destruction des germes sporulés, connus pour être extraordinairement résistants à tous les agents de désinfection. On s'attaque aux germes pathogènes des maladies infectieuses de l'homme véhiculés par l'eau, dont aucun ne produit des spores. Ce n'est qu'exceptionnellement, dans des cas définis de pollution artificielle, que des eaux destinées à la boisson pourraient renfermer des germes sporulés pathogènes (ex.: bactéridie charbonneuse).

Voulant faire ressortir le pouvoir destructif du chlore et de l'ozone sur les spores je fais état ici de deux expériences faites dans nos laboratoires en 1940, durant la guerre, en collaboration du *Dr. Fust* que je tiens particulièrement à remercier ici pour l'exécution de la partie bactériologique de cette mise au point.

### *1<sup>o</sup> Action spricide du chlore.*

Pour ces essais on utilisa des spores de

*Bacillus anthracis* (Bactéridie charbonneuse),

*Bacillus mesentericus*,

*Bacillus subtilis*.

Les cultures employées, âgées de 2 semaines, renfermaient presqu'exclusivement des éléments sporulés. Des fils de soie de 1 à 2 cm de longueur furent imprégnés de spores, puis séchés avec précaution. Ces fils ont été ensuite immergés séparément dans de l'eau stérile chlorée à raison de 0,5 — 1,0 — 2,0 — 3,0 — 4,0 et 5,0 mg. de Cl par litre d'eau. Les temps de contact avec l'eau chlorée furent pour chaque essai de 30 minutes, 1 heure — 2 h — 4 h — 6 h — 8 h — 25 heures et les essais se firent à une température moyenne du laboratoire de 22° environ.

Au bout de chaque temps de contact les fils de soie ont été sortis de l'eau chlorée pour être introduits chaque fois dans 10 cm<sup>3</sup> de bouillon nutritif, puis placés durant 48 heures à l'étuve à cultures. Des essais de contrôle parallèles ont été exécutés avec des fils infectés non exposés au chlore. A tous ces essais, sans exception aucune, on constata le développement de germes bien identifiés chaque fois comme *bacillus anthracis*, *bacillus mesentericus* et *bacillus subtilis*.

Avec ces concentrations de chlore, jusqu'à 100 fois plus élevées que celles qui peuvent être utilisées en pratique pour chlorer une eau potable, la destruction des spores n'a donc pas été possible, même au bout de 25 heures de contact.

## 2<sup>e</sup> Action sporicide de l'ozone

Pour ces essais on a utilisé seulement des spores charbonneuses (*bacillus anthracis*) provenant d'une culture sur gélose en boîte de Petri, âgée de 10 jours, totalement sporulée. Les spores furent détachées à l'aide d'eau distillée stérile et la suspension homogénisée, d'un volume de 225 cm<sup>3</sup>, fut introduite dans un flacon laveur où on l'exposa, par simple barbotage, à un courant d'oxygène ozoné au débit de 50 litres par heure contenant 1,07 gr. d'ozone par 100 litres du mélange des deux gaz.

Les durées de contact de l'eau souillée avec l'ozone furent de 15', 30', 60' et 2 heures.

Au bout de ces temps on ensemenza chaque fois 50 cm<sup>3</sup> de bouillon nutritif au moyen de 0,5 cm<sup>3</sup> de suspension de spores ozonées et les flacons furent placés à l'étuve à cultures pendant 72 heures.

Dans les flacons de bouillon ensemencés de suspensions de spores ozonées durant 15 et 30 minutes, il y eut encore un développement de germes. En revanche, ceux qui contenaient des spores exposées pendant 1 et 2 heures à l'ozone restèrent stériles. Tous les contrôles livrèrent un résultat positif.

*Dans l'espace d'une heure au maximum il a par conséquent été possible de détruire toutes les spores du bacillus anthracis, sous les conditions énoncées.*

L'ozone employé pour cette destruction se trouve à la concentration utilisée normalement pour la désinfection des eaux potables. La quantité d'ozone qui peut dans de telles conditions être maintenue en solution dans l'eau durant l'opération est de 5 mg. environ par litre d'eau, le facteur de dissolution dans l'eau étant de 0,495 à 0°. L'excès d'ozone non utilisé ou non décomposé au contact de l'eau s'échappe au fur et à mesure du flacon laveur.

Ces deux essais comparatifs démontrent bien la *supériorité incontestable de l'ozone sur le chlore* pour détruire des spores en milieu aqueux à la température ordinaire du laboratoire. Il est logique de penser que cette supériorité doit également se manifester lorsqu'il s'agit d'anéantir les formes végétatives des microbes.

## Résultats de mes expériences d'ozonation d'eaux polluées

Ces expériences tendaient, comme je l'ai déjà dit, à établir le pouvoir bactéricide réel de l'ozone, particulièrement lorsqu'on veut rendre potable *sans délai* une eau fortement souillée. Il y a en effet un intérêt majeur à connaître les possibilités de transformer immédiatement une eau douteuse ou dangereuse au point de vue bactériologique en une eau potable *agréable à boire, hygiénique et libre de tous germes pathogènes*.

La rapidité d'une désinfection efficace est importante non seulement pour des troupes en campagne qui doivent pouvoir rapidement être approvisionnées sur place, mais aussi pour la population civile puisqu'une installation de purifi-

cation instantanée d'eau potable pourrait sans inconvénient se greffer sur tout réseau douteux existant sans qu'il soit nécessaire, comme c'est le cas pour la chloration, de faire stationner l'eau en réservoir durant plusieurs heures avant de pouvoir la consommer sans danger.

Pour toutes les expériences relatées ci-après, lorsqu'il n'est pas spécifié un autre mode opératoire, les conditions générales suivantes furent la règle pour les essais:

1<sup>o</sup> Emploi d'un dispositif spécial (éjecteur à couronne Ronzi) ayant pour but de réduire l'eau, au moment de l'ozonation, en un film tenu qui assure une saturation quasi instantanée de chaque particule d'eau par l'ozone dès sa sortie de l'éjecteur.

2<sup>o</sup> Les bactéries (*bacterium coli*, *staphylococcus aureus*) servant à souiller l'eau d'essai proviennent de cultures fraîches sur gélose nutritive.

3<sup>o</sup> Les contrôles bactériologiques se font, aussi bien pour la numération des germes de l'eau souillée que pour celle de l'eau ozonée, en incorporant une quantité déterminée d'eau à de la gélose nutritive liquéfiée puis coulée avec cette eau à la température de 45° en boîtes de Petri que l'on soumet, après gélification, à une incubation de 24 à 48 heures à 37°.

Pour l'eau ozonée, l'ensemencement se fait avec 10 cm<sup>3</sup> d'eau par boîte de Petri. Pour l'eau polluée non traitée, on emploie 1 cm<sup>3</sup> d'une dilution de 1/100, 1/1000 ou davantage dans de l'eau stérile.

4<sup>o</sup> L'identification des bactéries se fait d'après les méthodes usuelles de recherche.

### Expérience 1

Les conditions particulières de ce premier essai furent les suivantes: l'efficacité de l'éjecteur à couronne (fig. 2) est tout d'abord mise en évidence en ozonant l'eau polluée *sans* employer le vase d'expansion cylindrique en verre adopté par la suite pour les autres essais.

L'eau ozonée provient du robinet du laboratoire et a été souillée artificiellement par du *colibacille* et du *staphylocoque doré*. Les quantités des deux espèces microbiennes sont à peu près les mêmes.

Débit de l'air ozoné	=	50 lt./heure
Débit de l'eau passant l'éjecteur	=	45 lt./heure
Débit en ozone de l'ozoneur	=	1,014 gr. par heure
Concentration de l'ozone du mélange air-ozone	=	2,028 gr. par 100 lt.
Quantité d'ozone correspondant à la désinfection <i>d'un mètre cube d'eau</i>	=	22,5 gr.

*Degré de pollution de l'eau*

(bacterium coli + staphylococcus aureus)

= 810 000 bactéries  
par cm<sup>3</sup> d'eau

*Bactéries restées vivantes après l'ozonation:*

immédiatement après

= 47 par cm<sup>3</sup> d'eau

après avoir laissé séjourner l'eau au repos  
en vase clos durant 24 heures

= 0 par cm<sup>3</sup> d'eau

*Taux de désinfection instantanée*

= 17 200 : 1

*Taux de désinfection, 24 heures après l'ozonation*

=  $\infty$  : 1

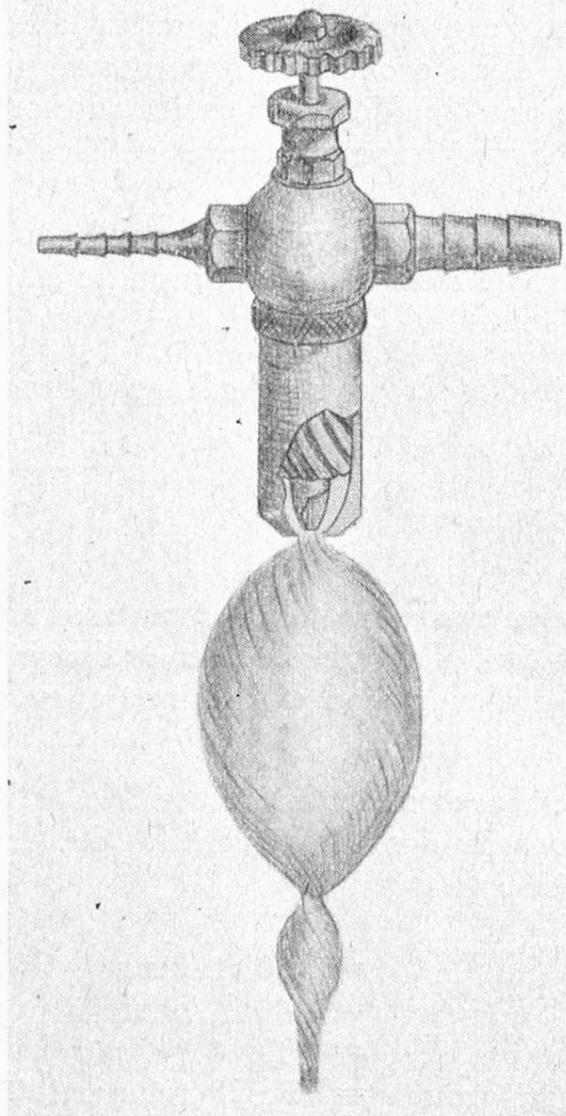


Fig. 2

Ces premiers résultats sont très réjouissants. Ils montrent nettement la rapidité avec laquelle on peut détruire les bactéries souillant une eau à un degré énorme, si l'on compare celui-ci au degré de souillure des eaux naturellement les plus polluées.

Pour les expériences suivantes j'ai diminué considérablement la quantité d'ozone par mètre cube d'eau ozonée et j'ai complété le dispositif d'épuration par l'adjonction d'un *cylindre d'expansion* en verre (fig. 3) qui devait dans mon idée augmenter l'action de l'ozone en prolongeant un instant l'ozonation tout en amenuisant encore le film d'eau s'échappant de l'éjecteur à couronne.

## Expérience 2

Cet essai se caractérise par l'emploi, pour la première fois, du *cylindre d'expansion en verre* (fig. 3), par l'augmentation considérable du taux de pollution de l'eau et par une réduction massive de la quantité d'ozone employée pour l'ozonation.

L'eau traitée est celle du robinet, souillée au moyen du *colibacille*.

Débit de l'air ozoné	=	50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en <i>1 heure</i> par l'ozoneur	=	0,075 gr.
Concentration de l'ozone dans le mélange air-ozone	=	0,150 gr./100 lt.
Débit de l'eau à désinfecter	=	90 lt./heure
Quantité d'ozone correspondant à la désinfection <i>d'un m<sup>3</sup> d'eau</i>	=	0,83 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau</i> (bacterium coli)	=	<u>2 090 000 bactéries</u> par cm <sup>3</sup> d'eau
<i>Bactéries restées vivantes immédiatement après</i> l'ozonation	=	<u>91</u> par cm <sup>3</sup> d'eau
<i>Taux de désinfection instantanée</i>	=	<u>23 075 : 1</u>

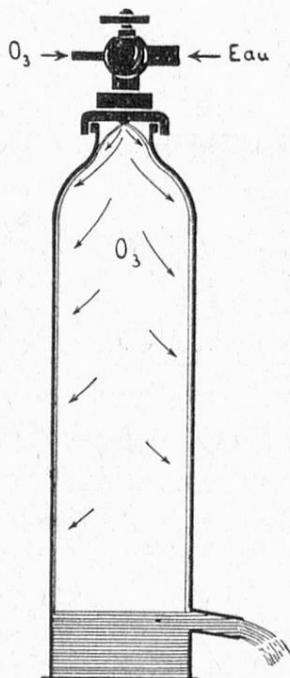


Fig. 3

En dépit des conditions beaucoup plus rigoureuses (davantage de germes, moins d'ozone) que pour l'essai précédent, le taux de désinfection instantanée a pu être ici encore sensiblement amélioré. Le cylindre d'expansion en verre complétant le dispositif d'ozonation a agi efficacement.

### Expérience 3

Même dispositif d'essai que pour l'expérience 2. L'eau à traiter provient du robinet du laboratoire et a été souillée par le *bacterium coli*. Le degré de pollution est, tout en restant très élevé, 12 fois moins fort que dans l'essai précédent. A la suite d'une diminution de pression occasionnée par les difficultés d'effectuer ces expériences en laboratoire en fixant à l'avance tous les éléments dont il faut tenir compte, le débit de l'eau s'est trouvé réduit un peu par rapport à l'essai précédent. La quantité d'ozone correspondant ici à l'ozonation d'un mètre cube d'eau est de 1 gr., chiffre en somme très faible pour l'épuration d'une eau pareillement souillée.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en 1 heure par l'ozoneur	= 0,075 gr.
Concentration de l'ozone dans le mélange air-ozone	= 0,150 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 78 lt./heure
Quantité d'ozone correspondant à la désinfection d'un mètre cube d'eau	= 1,0 gr.
Degré de pollution de l'eau ( <i>bacterium coli</i> )	= <u>175 000</u> bactéries par cm <sup>3</sup>
Bactéries restées vivantes immédiatement après l'ozonation	= <u>3,8</u> par cm <sup>3</sup>
Taux de désinfection instantanée	= <u>46 450 : 1</u>

Résultat excellent, attribué à une pollution moins forte, bien qu'encore considérable, et à une vulnérabilité plus grande du colibacille qui est dans ce cas le seul élément de souillure.

### Expérience 4

Même appareillage d'essai que pour l'expérience 2. L'eau du robinet à traiter a été souillée par deux espèces microbiennes: le *bacterium coli* et le *staphylococcus aureus*, introduites dans l'eau en quantités à peu près équivalentes. La quantité d'ozone employée par m<sup>3</sup> d'eau pour l'ozonation est inférieure à 1 gr., par conséquent très faible. Malgré cela les résultats ont dépassé toute attente.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en 1 heure par l'ozoneur	= 0,075 gr.
Concentration de l'ozone dans l'air ozoné	= 0,150 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 90 lt./heure

Quantité d'ozone employée pour désinfecter <i>1 m<sup>3</sup> d'eau</i>	= 0,83 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau</i> ( <i>bacterium coli + staphylococcus aureus</i> )	= <u>98 800</u> bactéries ↓ par cm <sup>3</sup> d'eau
<i>Bactéries restées vivantes</i> immédiatement après l'ozonation	= 5 par cm <sup>3</sup> d'eau, dont 0 colibacille
<i>Taux de désinfection instantanée</i>	= <u>20 000 : 1</u>
<i>Taux de désinfection instantanée pour le colibacille seul</i> (par identification et numération des colonies de 10 cm <sup>3</sup> d'eau ozonée)	= <u>125 000 : 1</u>

Cette expérience permet de constater nettement une résistance moindre du *colibacille* à l'agent stérilisant que celle de son congénère, le *staphylocoque doré*.

### Expérience 5

Cette expérience est faite dans les mêmes conditions que sous 4. La même eau souillée sert à l'essai (*bacterium coli + staphylococcus aureus*).

L'expérience est complétée par la détermination du taux de désinfection de l'eau ozonée abandonnée durant 60 minutes après l'ozonation dans un vase clos.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en <i>1 heure</i> par l'ozoneur	= 0,075 gr.
Concentration de l'ozone de l'air ozoné	= 0,150 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 90 lt. par heure
Quantité d'ozone employée pour la désinfection <i>d'un m<sup>3</sup> d'eau</i>	= 0,83 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau</i> ( <i>bacterium coli + staphylococcus aureus</i> )	= <u>98 800</u> bactéries ↓ par cm <sup>3</sup> d'eau
<i>Bactéries restées vivantes:</i> immédiatement après l'ozonation	= 4 par cm <sup>3</sup> d'eau
60 minutes après l'ozonation (eau abandonnée en vase clos)	= 0 par cm <sup>3</sup> d'eau
<i>Taux de désinfection instantanée</i>	= <u>24 700 : 1</u>
<i>Taux de désinfection pour l'eau ozonée abandonnée</i> ensuite durant 60 minutes en vase clos	= <u>∞ : 1</u>

Le traitement de cette eau très fortement polluée a donné un taux de désinfection instantanée des meilleurs. L'expérience montre d'autre part la possibilité même de stériliser lorsqu'on a soin de maintenir l'eau en vase clos pendant un certain temps après l'ozonation.

### Expérience 6

L'expérience suivante, qui donna un taux de désinfection beaucoup moins favorable qu'aux essais précédents, mérite d'être mentionnée.

L'eau à traiter avait séjourné quelque temps dans un récipient de tôle de fer fortement rouillé. Elle fut ozonée sans filtration préalable et était visiblement trouble au moment du traitement. L'eau ozonée donna même un gros dépôt de  $Fe_2O_3$ . L'ozonation normale de l'eau a sans doute été entravée ici par la présence d'une quantité appréciable de fer dissous. Ce dernier a été oxydé rapidement par l'ozone en passant par  $Fe(OH)_2$  et  $Fe_3O_4 \cdot 2 H_2O$ . Cette expérience, répétée plusieurs fois, livra régulièrement un taux d'ozonation inférieur au taux moyen obtenu jusqu'ici.

Pour cet essai on avait souillé l'eau avec le *bacterium coli* et la disposition des appareils était semblable à celle des expériences précédentes.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en 1 heure par l'ozoneur	= 0,260 gr.
Concentration de l'ozone dans l'air ozoné	= 0,520 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 98,5 lt. par heure
Quantité d'ozone employée à l'ozonation d'un $m^3$ d'eau	= 2,6 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau (Colibacille)</i>	= $\frac{107\ 500 \text{ bactéries}}{\downarrow \text{par cm}^3 \text{ d'eau}}$
<i>Bactéries restées vivantes:</i> immédiatement après l'ozonation	= 10,2 par $\text{cm}^3$ d'eau
<i>30 minutes</i> après l'ozonation	= 7,9
<i>2<math>\frac{1}{2}</math> heures</i> après l'ozonation (eau au repos)	= 0,7
<i>Taux de désinfection instantanée</i>	= $\frac{12\ 000 : 1}{\downarrow}$
<i>Taux de désinfection après 30 minutes</i>	= $\frac{13\ 600 : 1}{\downarrow}$
<i>Taux de désinfection au bout de 2<math>\frac{1}{2}</math> heures</i>	= $\underline{153\ 600 : 1}$

## Expérience 7

Cette expérience se distingue des essais précédents par l'emploi, pour l'ozonation, d'une quantité d'ozone plus grande par mètre cube d'eau traitée. La souillure de l'eau du robinet se fit par du *colibacille* et le degré de pollution est ici particulièrement élevé.

Malgré cette pollution extraordinairement forte, le résultat est des plus favorables. Le *taux de désinfection instantanée* atteint  $250\,000 : 1$  pour cette eau renfermant  $575\,000$  bactéries par  $cm^3$ . Et une heure après l'ozonation, abandonnée à elle-même en vase clos, l'eau se trouve complètement débarrassée de tous ses germes vivants. Elle est *stérile*.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite par l'ozoneur en <i>une heure</i>	= 0,612 gr.
Concentration de l'ozone du mélange oxygène-ozone	= 1,24 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 61 lt./heure
Quantité d'ozone employée pour l'ozonation <i>d'un m<sup>3</sup> d'eau</i>	= 10,0 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau</i> ( <i>bacterium coli</i> )	= $\frac{575\,000 \text{ bactéries}}{\downarrow \text{par } cm^3 \text{ d'eau}}$
<i>Bactéries restées vivantes:</i>	
<i>immédiatement après l'ozonation</i>	= 2,3 par $cm^3$ d'eau
<i>30 minutes après l'ozonation</i>	= 1,1
<i>60 minutes après l'ozonation</i>	= 0
<i>Taux de désinfection instantanée</i>	= $\underline{250\,000 : 1}$
<i>Taux de désinfection, 30' plus tard</i>	= $\underline{522\,700 : 1}$
<i>Taux de désinfection, 1 heure après l'ozonation</i>	= $\underline{\infty : 1}$

## Expérience 8

Les expériences effectuées avec l'eau d'alimentation de la ville de Berne que je souillais fortement soit avec le *bacterium coli* soit avec le *staphylococcus aureus*, ou à la fois avec les deux espèces microbiennes, ayant donné des résultats excellents, j'ai voulu tenter la désinfection d'une *eau de rivière*, à sa sortie d'une ville importante, par conséquent chargée de détritus et matières de toutes sortes en suspension et en solution. J'ai choisi à cet effet l'eau de l'*Aare*, prélevée sur sa rive droite, en aval de Berne, à la hauteur des bains publics de la Lorraine. Le premier prélèvement pour l'ozonation eut lieu le 16. XI. 1945 à 17 heures,

par temps froid (léger gel) et clair. L'eau était d'apparence limpide et le niveau de la rivière assez bas. Aucune précipitation n'avait eu lieu depuis plus d'une semaine. L'eau a été filtrée rapidement et grossièrement sur papier avant l'ozonation.

Pour le traitement j'ai utilisé l'éjecteur à couronne et le cylindre d'expansion en verre, comme aux essais précédents.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite à l'heure par l'ozoneur	= 0,075 gr.
Concentration de l'ozone dans l'air ozoné	= 0,150 gr./100 lt.
Débit de l'eau passant l'éjecteur	= 78 lt./heure
Quantité d'ozone utilisé par $m^3$ d'eau à l'ozonation	= 1,0 gr.

*Degré de pollution de l'eau* (bactéries se développant

à $37^\circ$ en 24 heures sur gélose nutritive)	= $\frac{1460}{\downarrow}$ germes par $cm^3$ d'eau
<i>Germes restés vivants immédiatement</i>	
après l'ozonation	= $\frac{0,5}{\downarrow}$ par $cm^3$ d'eau

*Taux de désinfection instantanée* =  $\frac{1}{2920 : 1}$

L'eau ozonée est débarrassée de presque tous ses germes, mais pas complètement puisqu'il en reste 1 pour deux  $cm^3$  d'eau. Malgré cette réduction massive des germes, on pouvait s'attendre, en se basant sur les expériences antérieures, à un taux de désinfection instantanée beaucoup plus élevé. A quoi doit être attribuée la présence de quelques germes survivants après l'ozonation? Les matières organiques dissoutes en abondance dans l'eau et la présence de bactéries banales, éventuellement d'éléments sporulés saprophytes, pourraient bien être la cause de ce résultat aberrant.

### Expérience 9

Une nouvelle expérience, répétée dans des conditions identiques à la précédente, est faite avec de l'eau nouvellement prélevée au même endroit 2 jours plus tard.

J'obtiens:

<i>Degré de pollution de l'eau</i> (germes se développant à $37^\circ$ en 24 heures sur de la gélose nutritive)	= $\frac{1490}{\downarrow}$ germes par $cm^3$ d'eau
<i>Germes restés vivants :</i>	
<i>immédiatement</i> après l'ozonation	= 1 par $cm^3$ d'eau
<i>30 minutes</i> après l'ozonation dans l'eau ozonée laissée au repos	= $\frac{0,1}{\downarrow}$ par $cm^3$ d'eau
<i>Recherche du Colibacille</i> dans 5 $cm^3$ d'eau ozonée	= néant

Cette seconde expérience avec l'eau de l'Aare vient en quelque sorte confirmer le premier essai effectué sur cette même eau.

Le nombre relativement réduit des germes microbiens trouvés dans l'eau non traitée étonne quand on sait que l'Aare reçoit un peu en amont les égoûts de la ville. Mais dans mes expériences je tiens uniquement compte des germes se développant à la température de 37° parce que seulement parmi eux peuvent se rencontrer des bactéries pathogènes génératrices de maladies infectieuses humaines.

En réalité les deux essais suivants nous montrent que l'eau de l'Aare renferme davantage de germes microbiens. Ces essais furent effectués trois semaines plus tôt, dans des conditions atmosphériques semblables à celles qui prévalurent pour l'exécution des expériences 8 et 9. Sur la même eau j'ai déterminé d'une part le nombre de germes se développant à la température de 37° et de l'autre ceux qui se développent à 20° seulement.

Et voici les résultats de ces deux déterminations:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| a) <i>Nombre de germes microbiens se développant sur la gélose nutritive à la température d'incubation de 20° en cinq jours</i> | = 5820 par cm <sup>3</sup> d'eau |
| b) <i>Nombre de germes microbiens se développant sur la gélose nutritive à la température d'incubation de 37° en 24 heures</i>  | = 1020 par cm <sup>3</sup> d'eau |

Cette différence est suggestive. Nombreux sont donc les germes de cette eau ne se développant qu'à 20°. On peut les considérer comme des germes banaux touchés également par l'ozonation.

### Expérience 10

En traitant *l'eau de l'Aare* prélevée toujours au même endroit dans les conditions exposées sous 8 et 9, je trouvais, dans les cas les moins favorables, toujours encore 2 à 3 germes microbiens par cm<sup>3</sup> immédiatement après l'ozonation, et du colibacille dans 35 cm<sup>3</sup> d'eau.

En ozonant une seconde fois immédiatement après, cette eau dont les germes avaient été réduits par le premier traitement à 2 ou 3 germes par cm<sup>3</sup>, je n'ai pas pu atteindre la stérilité du milieu, comme je l'escrtais. Il en restait toujours encore 1 ou 2 par cm<sup>3</sup>, mais le colibacille avait disparu dans 35 cm<sup>3</sup> d'eau et ce furent des moisissures surtout que l'on observa comme germes survivants.

La présence de germes sporulés banaux très résistants pouvant être admise, on peut s'expliquer de cette façon les résultats apparemment moins brillants de l'ozonation instantanée de cette eau de rivière brute si on les compare à ceux

qui furent obtenus avec une eau de source considérablement plus souillée artificiellement. J'attribue le ralentissement apparent de l'action stérilisante de l'ozone sur les eaux de rivières plutôt à la présence de germes sporulés résistants banaux qu'aux matières organiques oxydables qui s'y trouvent en quantité plus grande ici que dans les eaux de source ou de fond. L'influence de ces matières organiques sur la rapidité de la désinfection ne doit cependant pas être minimisée.

### Expérience 11

L'expérience suivante montre qu'en augmentant considérablement la concentration d'ozone de l'air ozoné, de manière à mettre un excès d'ozone à disposition pour l'oxydation des substances organiques, on n'améliore pas le résultat de la désinfection instantanée.

De l'*eau de l'Aare*, prélevée toujours à l'endroit indiqué précédemment, le 9 juillet 1946, par hautes eaux, après d'abondantes précipitations au cours des jours précédents, est soumise à l'ozonation. La méthode de traitement est toujours la même. Cette eau trouble reste encore opalescente après avoir été filtrée sommairement sur du papier. La température de l'eau ce jour là, à 10 heures, était de 13°, celle de l'air 12,5°.

Débit de l'air ozoné	= 50 lt./heure
Quantité d'ozone produite en 1 heure par l'ozoneur	= 1,334 gr.
Concentration de l'ozone dans l'air ozoné	= 2,668 gr./100 lt.
Débit de l'eau sortant de l'éjecteur	= 65 lt./heure
Quantité d'ozone correspondant au traitement <i>d'un m<sup>3</sup> d'eau</i>	= 20,5 gr.
<i>Degré de pollution de l'eau</i>	= <u>616</u> germes par cm <sup>3</sup> croissant en 48 h. ↓ à 37° sur gélose nutritive
<i>Germes restés vivants:</i>	
a) immédiatement après l'ozonation	= 1,1 cm <sup>3</sup> d'eau
b) 30 minutes après l'ozonation, dans l'eau restée en flacon non bouché hermétiquement	= 0 par cm <sup>3</sup> d'eau

En dépit de cette ozonation exécutée pourtant au moyen d'une dose d'ozone considérablement plus élevée que pour les essais antérieurs, l'anéantissement instantané total des germes n'a pas pu être atteint. Au bout de 30 minutes on a trouvé toutefois l'eau stérile.

## Expérience 12

Par une dernière expérience j'ai voulu montrer comment il est possible de parvenir à une désinfection excellente d'eaux de surface fortement contaminées et chargées de matières organiques, telles les eaux d'une rivière traversant une ville. Il suffit à cet effet d'apporter une petite modification au système d'ozonation instantanée utilisé jusqu'ici avec succès pour les eaux de source souillées artificiellement.

En prenant la même *eau de l'Aare* qui servit à l'expérience précédente, sous des conditions analogues de production d'ozone, mais en apportant quelques changements dans la construction de l'appareil d'ozonation, je suis parvenu enfin à obtenir pratiquement immédiatement non seulement une désinfection très poussée mais à stériliser l'eau.

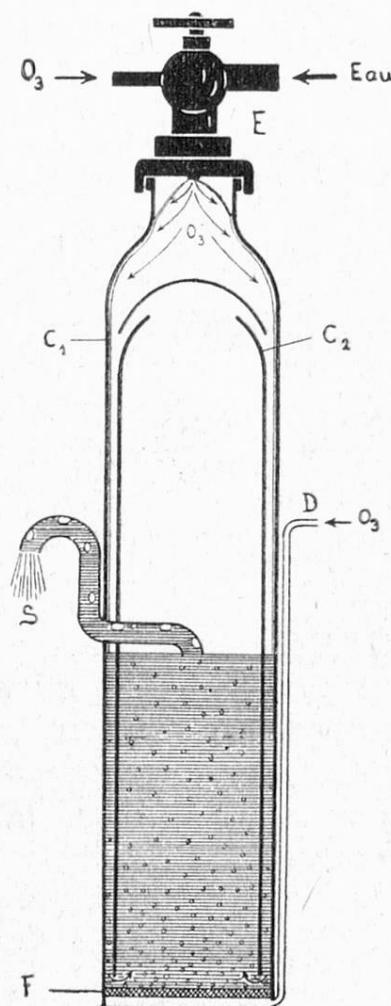


Fig. 4

L'appareil employé est représenté par la fig. 4. Dans ce dispositif nouveau l'eau, au sortir de l'éjecteur à couronne, ruisselle le long de la paroi interne du cylindre d'expansion  $C_1$  et se trouve ainsi soumise à l'ozonation instantanée. Un cylindre intérieur  $C_2$  l'oblige ensuite à descendre jusqu'en  $F$  où est fixée une plaque en verre frité au travers de laquelle diffuse de l'air ozoné arrivant par le fond et qui maintient dans toute l'eau en circulation dans les cylindres un maximum d'ozone dissous. L'appareil est construit de telle sorte que l'eau sortant de l'éjecteur  $E$  effectue son parcours jusqu'à la sortie  $S$  en l'espace d'une minute. De l'ozone pénètre aussi par l'éjecteur  $E$ .

Par l'intercalation d'un dispositif construit selon ce principe sur toute canalisation d'eau souillée le consommateur obtiendra immédiatement en ouvrant son robinet une eau débarrassée de toutes ses bactéries vivantes. En réalité le contact intime de l'eau avec l'ozone à sa plus haute concentration dure 1 minute. Ce temps s'est avéré suffisant pour stériliser l'eau de l'Aare, au cours de mes essais.

Cette expérience montre que l'on a tout avantage, lorsqu'il faut épurer une eau de surface très polluée, à appliquer le procédé de désinfection instantanée en combinaison avec le dispositif qui assure la prolongation de l'ozonation durant quelques instants. On s'assure ainsi une marge de sûreté qui n'est pas à

dédaigner, d'autant plus que le coût de l'ozonation ne s'en trouvera point modifié pour autant.

#### *Coût de l'ozonation de l'eau*

Pour produire 1 gr. d'ozone il faut une quantité d'énergie électrique correspondant à 10 watts, avec les appareils utilisés dans mes expériences. Dans ces conditions, au prix de 4 centimes le KWh, et si l'on employait en moyenne 3 gr. d'ozone par mètre cube d'eau épurée, l'ozone nécessaire au traitement reviendrait à environ 1/10 de centime par  $m^3$  d'eau. Dans ce prix n'est bien entendu pas compris la petite quantité d'énergie électrique nécessaire pour actionner le compresseur à air chassant l'air ozoné dans l'eau à ozoner. Et si l'on devait dans des cas exceptionnels traiter énergiquement une eau de surface, à raison de 10 gr. d'ozone par  $m^3$  d'eau, le prix de l'ozone ne serait toujours que de 0,4 cts. par mètre cube d'eau.

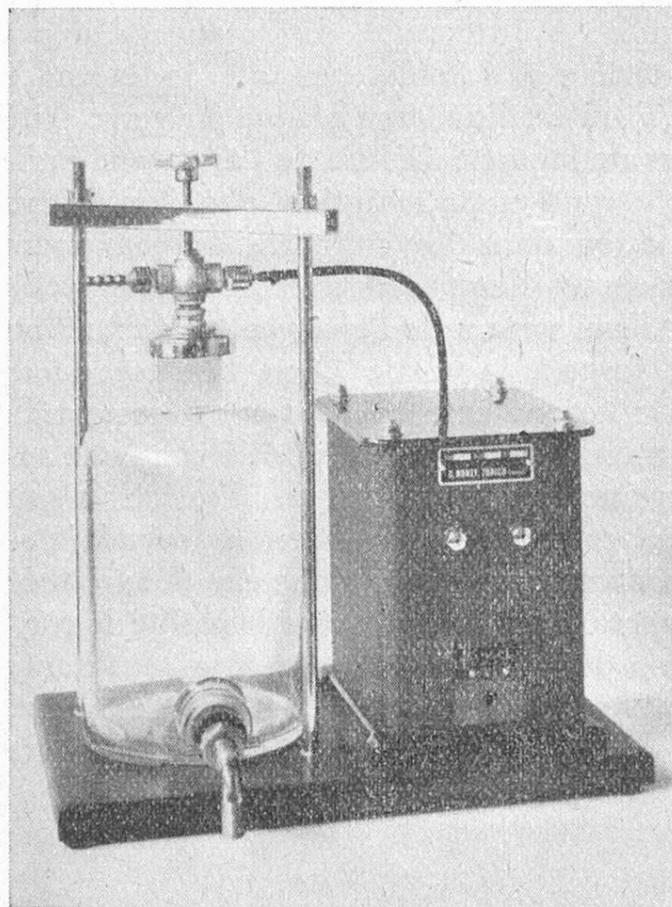


Fig. 5

Ajoutons encore qu'une chute de 10 mètres de l'eau à épurer serait suffisante pour produire sur place l'énergie électrique nécessaire à l'ozonation avec une dose moyenne d'ozone. Mais ce sont là des questions techniques sur lesquelles je ne m'approfondirai pas car elles sont du ressort des techniciens.

La fig. 5 représente un ozoneur monté pour la désinfection de l'eau. Le cylindre d'expansion en verre est ici considérablement plus volumineux que celui qui fut utilisé aux expériences. Ce dernier avait une hauteur de 40 cm et un diamètre de 10 cm (fig. 3) seulement.

## *Conclusions*

Il n'est pas sans intérêt de comparer pour conclure les résultats de la chloration effectuée par l'American Waterworks Association avec ceux que j'ai moi-même obtenus à l'ozonation.

Bien que toutes ces expériences se soient déroulées sous des conditions différentes, beaucoup plus sévères pour l'ozonation, la supériorité écrasante de l'ozone sur le chlore est manifeste, en dépit des très bons résultats atteints aussi au moyen de la chloration avec préamonisation.

Les expériences d'ozonation rapportées ci-dessus dans leurs traits essentiels livrent la clef des problèmes auxquels je m'étais proposé de trouver une solution: Peut-on épurer instantanément des eaux destinées à l'alimentation? Comment s'y prend-on le mieux? Quels sont les résultats au point de vue bactériologique? L'épuration au chlore, dans ses formes les plus perfectionnées, peut-elle rivaliser avec l'ozonation?

La désinfection des eaux, sans délai d'attente, est en effet possible au moyen de l'ozone. Les résultats bactériologiques de mes expériences en apportent la preuve. Cette épuration rapide n'est en revanche pas réalisable avec aucun des procédés au chlore. Les meilleurs parmi ceux-ci se caractérisent par une action bactéricide très lente qui oblige à retenir l'eau traitée en réservoir assez long-temps avant de pouvoir s'en servir sans danger.

Pour réaliser avec succès l'ozonation immédiate d'une eau on peut employer les dispositifs décrits dans mes essais, au moyen desquels chacune des plus petites particules d'eau est immédiatement mise en présence d'ozone. Grâce à cet appareillage la durée de contact peut être prolongée un peu, assez pour parfaire l'épuration instantanée qui serait du reste dans la plupart des cas déjà suffisamment efficace pour garantir une bonne désinfection.

L'épuration au chlore, sous ses formes les plus perfectionnées, ne peut plus rivaliser avec une ozonation bien comprise. Sous tous ses rapports l'ozone se montre supérieur au chlore: rapidité de la désinfection, suppression du désagrément créé par la chloration qui confère parfois à l'eau des propriétés olfactives et gustatives particulièrement désagréables, maintien des qualités physiologiques propres à l'eau dans toute leur étendue, dans certains cas amélioration même de ces qualités contrairement à ce que produit le chlore.

Les résultats bactériologiques de l'ozonation sont des meilleurs. L'épuration instantanée a satisfait au-delà de toute attente. La stérilisation — c'est à dire la destruction des derniers germes — d'une eau brute de rivière s'est révélée plus difficile que celle d'une eau de source polluée artificiellement à un degré pourtant considérablement plus élevé. D'après les observations faites au cours des essais les matières organiques oxydables ne semblent pas être seules à l'origine de cette difficulté rencontrée. La présence de bactéries saprophytes plus résistantes que les bactéries pathogènes habituellement véhiculées par les eaux dangereuses, ou aussi la présence d'éléments sporulés banaux, en sont probable-

ment une des causes principales. Mais ces eaux de surface peuvent être traitées aussi avec plein succès moyennant quelques modifications apportées au dispositif d'ozonation. L'ozonation instantanée a permis par exemple de réduire au cours des essais le nombre des germes de l'eau de l'Aare à sa sortie immédiate de la ville de Berne à 1 germe pour 2 cm<sup>3</sup> d'eau et d'atteindre la stérilité en l'espace d'une minute. On ne pouvait demander davantage.

Les résultats de ces expériences ont montré clairement combien non seulement l'ozonation rapide revêtait de l'importance pour l'armée en campagne (station de pompage avec filtration rapide, ozonation et distribution immédiate d'eau potable sûre, hygiénique et agréable à boire, le tout monté sur un camion accompagnant la troupe), mais aussi ses avantages évidents pour les populations civiles dans tous les pays où l'on dispose d'énergie électrique. Nombreuses sont en effet les villes ou autres agglomérations, à l'étranger surtout, où le public se plaint de la qualité des eaux trop chlorées, particulièrement en été, à cause de leur odeur repoussante et des dérangements intestinaux attribués au chlore.

Par une ozonation rationnelle tous les inconvénients provenant de l'emploi du chlore sont supprimés. On obtient une eau bactériologiquement bien épurée, hygiénique parce que ne contenant aucun produit nocif pour l'organisme, exempte de saveur ou d'odeur étrangères puisque l'ozone non décomposé en oxygène ou utilisé pour l'oxydation des matières organiques s'échappe totalement de l'eau aussitôt après l'ozonation, et enfin parfois même nettement améliorée du point de vue olfactif et gustatif par suite de cette destruction des matières organiques.

Nous avons vu comment l'on pouvait, moyennant l'emploi d'un dispositif approprié, obtenir pour ainsi dire instantanément la désinfection de l'eau à un degré suffisant pour éliminer pratiquement tout danger d'infection. A cet effet il suffira aux techniciens appelés à construire des installations d'épuration des eaux de s'en tenir aux principes d'ozonation qui furent à la base de mes essais. Pour traiter les eaux de surface souillées, difficiles à stériliser, telles les eaux de rivières baignant des villes, les eaux douteuses sur le passage de troupes en campagne, on augmentera l'effet de l'ozonation instantanée par l'emploi d'un dispositif (fig. 4) analogue à celui qui me permit d'anéantir sans délai d'attente tous les germes d'une eau de rivière.

En examinant les taux de la désinfection instantanée par ozonation on s'aperçoit qu'ils sont satisfaisants même dans le traitement d'eaux extraordinairement souillées comme on n'en rencontre pour ainsi dire jamais dans la nature.

Des conditions excellentes d'ozonation des eaux d'alimentation sont établies. Souhaitons de voir appliquer dorénavant en Suisse cet excellent procédé de désinfection, de préférence à la chloration.

### *Résumé*

Compte rendu d'une étude pour rechercher les meilleures conditions de désinfection par l'ozone d'eaux destinées à l'alimentation et établir une documentation utile sur l'effet bactéricide de ce gaz.

Comparaison de l'ozonation avec les meilleurs procédés au chlore.

Confirmation de la supériorité incontestable de l'ozone sur le chlore, à tous points de vue.

### *Zusammenfassung*

Es wird eine zusammenfassende Studie über Versuche zur Feststellung der besten Bedingungen für die Desinfektion von Trinkwasser mit Ozon und zur Aufstellung einer zweckdienlichen Dokumentation über die bakterizide Wirkung dieses Gases gegeben.

Die Ozonierung wird mit den besten Chlorierungsverfahren verglichen und dabei die in jeder Hinsicht unbestreitbare Überlegenheit des Ozons dem Chlor gegenüber dargetan.

### *Bibliographie*

<sup>1)</sup> *Imbaux — Qualités de l'eau et moyens de correction*, 1935, Paris.

## **Vergleichende Untersuchungen über die Fettbestimmungsmethoden in Mahlprodukten (Weizenkeimen)**

Von *Ilse Antener* und *Otto Högl*, Bern

(Aus dem Laboratorium des Eidg. Gesundheitsamtes)

### *I. Allgemeines*

#### *A. Problemstellung*

Je nach der angewandten Bestimmungsmethode, können in Lebensmitteln recht verschiedene Gehalte an Fett resp. an Bestandteilen, die in organischen Lösungsmitteln löslich sind, gefunden werden. Die Soxhletextraktion an Brot und Backwaren oder an Hefe angewandt, gibt zu tiefe Werte, weil nur ein Teil des Fettes extrahiert werden kann. Eine direkte Fettextraktion bei Milch durch Ausschütteln derselben im Scheidetrichter mit organischen Lösungsmitteln ergibt Resultate, welche im Vergleich zum wirklich vorhandenen Fettgehalt viel