

839

903

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

Reconnue d'utilité publique par décret du 22 décembre 1860

19, rue Blanche, PARIS



L'INDUSTRIE DE L'OZONE

OZONEURS ROTATIFS INDUSTRIELS

DOSAGE DE L'OZONE - ÉPURATION ET STÉRILISATION DES EAUX

APPLICATIONS DE L'OZONE

PAR

M. M. OTTO

DOCTEUR ÈS SCIENCES

EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

(Bulletin de février 1900.)

PARIS

19, rue Blanche, 19

1900



Vitr
Ray.

15
5

L'INDUSTRIE DE L'OZONE

386388/-101943

PAR

M. M. OTTO

DOCTEUR ÈS SCIENCES.



BMEC 37

INTRODUCTION

De nombreux progrès ont été réalisés dans l'industrie de l'ozone depuis la conférence que j'ai eu l'honneur de faire, il y a trois ans, devant la Société.

L'ozone, on le sait, n'est autre chose que de l'oxygène condensé ou polymérisé. La formule de ce dernier étant :

O^2 (2 vol.),

celle de l'ozone est :

O^3 (2 vol.).

Cette formule a été établie par l'étude comparée des vitesses de diffusion du chlore, de l'acide carbonique et de l'ozone et par l'observation rigoureuse des phénomènes qui accompagnent la formation de ce dernier et sa destruction sous l'influence des agents physiques ou chimiques.

La détermination directe de la densité de l'ozone (1) m'a permis de fixer indiscutablement sa nature. Tout récemment, M. le professeur Troost est arrivé à le liquéfier aisément en employant l'air liquide, et a pu déterminer son point d'ébullition exact, qui se trouve à 119° au-dessous de zéro.

J'ai précédemment étudié toute une classe d'appareils générateurs d'ozone basés sur l'emploi de lames de verre formant diélectriques. Dès l'origine de mes travaux, j'ai cherché à me débarrasser de ces éléments extrêmement fragiles, d'un maniement très délicat.

Dans une conférence que je faisais, en 1897, à la Sorbonne, après avoir décrit mes appareils à diélectriques et indiqué les conditions théoriques auxquelles tout bon ozoneur doit satisfaire

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. 124, p. 78.

pour fournir un rendement satisfaisant, je disais, en envisageant l'avenir de l'industrie naissante :

« Le problème de la préparation industrielle de l'ozone ne sera résolu complètement, que lorsque l'on sera arrivé par un artifice quelconque à supprimer les diélectriques et à construire des appareils entièrement métalliques, simples et robustes dont rien ne limitera les dimensions et la puissance. »

Le but proposé, j'ose l'espérer, est atteint. La solution apportée au problème est extrêmement simple ; je vais indiquer en quoi elle consiste.

CHAPITRE PREMIER

Ozoneurs rotatifs industriels.

Si l'on place deux électrodes métalliques planes en regard, à une distance déterminée, et si on les porte à une différence de

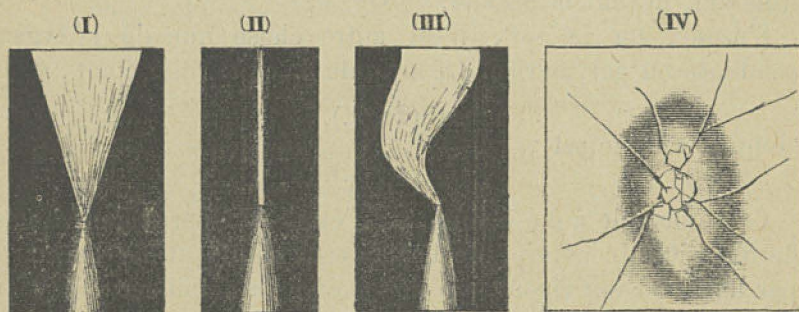


FIG. 1. — (I) Effluve. — (II) Étincelle. — (III) Arc. — (IV) Verre brisé par un court-circuit.

potentiel suffisamment élevée, un arc jaillira brusquement, et une sorte d'éclair en boule se promènera avec un sifflement particulier entre les deux électrodes. La production d'ozone sera très faible.

Si l'une des deux surfaces en regard est au contraire hérissée de pointes ou de lames tranchantes, qui se comportent comme une série de pointes infiniment rapprochées, on voit ces lames s'illuminer doucement et une belle décharge violacée jaillir entre les électrodes : on a l'effluve et la production d'ozone est très abondante.

Pour peu que la différence de potentiel augmente, de vives étincelles, bientôt accompagnées d'arcs extrêmement dangereux, succèdent à cette première phase du phénomène (*fig. 1*). Tout diélectrique solide interposé, serait infailliblement brisé.

Il est impossible, industriellement, d'avoir une force électromotrice rigoureusement constante. On ne peut donc pratiquement maintenir d'une manière certaine l'effluve seul dans les générateurs d'ozone et éviter les arcs et les courts-circuits dangereux. D'autres causes peuvent du reste les provoquer; un corpuscule flottant dans l'air et venant diminuer la résistance du milieu interposé entre les électrodes, suffit pour les amorcer.

J'ai demandé aux générateurs d'ozone eux-mêmes ce que les dynamos puissantes, mais indociles, ne pouvaient me fournir, et j'ai établi des appareils dans lesquels d'une manière certaine, rigoureuse, et automatique, les arcs sont éteints et les courts-circuits sont interrompus lorsque, pour une raison quelconque, il s'en déclare : ce sont les ozoneurs rotatifs.

Ces appareils sont divisés en deux grandes catégories :

- 1° Les ozoneurs rotatifs à électrodes mobiles;
- 2° Les ozoneurs rotatifs à amorceurs ou interrupteurs d'effluves.

I. — OZONEURS ROTATIFS A ÉLECTRODES MOBILES.

Les ozoneurs de cette catégorie présentent les caractéristiques suivantes :

- 1° Les électrodes, la moitié au moins, sont mobiles;
- 2° Il n'intervient dans leur construction que des matériaux offrant toutes les garanties de résistance et de solidité qu'on doit demander à des appareils destinés à un long usage industriel;
- 3° La décharge électrique jaillit directement dans l'air ou dans l'oxygène, entre des parties métalliques portées à des potentiels différents, sans qu'un diélectrique quelconque soit interposé entre ces dernières.

Pour se rendre compte du fonctionnement des ozoneurs rotatifs, il suffit de considérer deux éléments, respectivement en relation avec les deux pôles d'une source à haut potentiel et placés à une distance telle que l'effluve ne puisse jaillir. Si on les rapproche à une distance suffisamment faible, la décharge se produira; en augmentant ensuite graduellement cette distance, la décharge s'éteindra.

Si un arc s'était formé accidentellement pendant la production de l'effluve, cet arc serait coupé.

On conçoit que la réalisation de cette succession de phénomènes puisse s'obtenir par plusieurs dispositifs différents.

Un des plus simples consiste en deux cercles conducteurs dans lesquels sont découpés une série de secteurs parallèles ou légèrement inclinés comme les ailes d'une hélice. Dans ce cas l'ozoneur forme lui-même ventilateur. Les centres des deux cercles sont sur le même axe; les deux cercles sont réunis respectivement à chacun des pôles d'un transformateur à haute tension; les surfaces en regard sont hérissées de pointes ou de lames à biseaux tranchants. Un des cercles étant fixe, si l'autre est animé d'un mouvement de rotation, une décharge jaillit chaque fois que

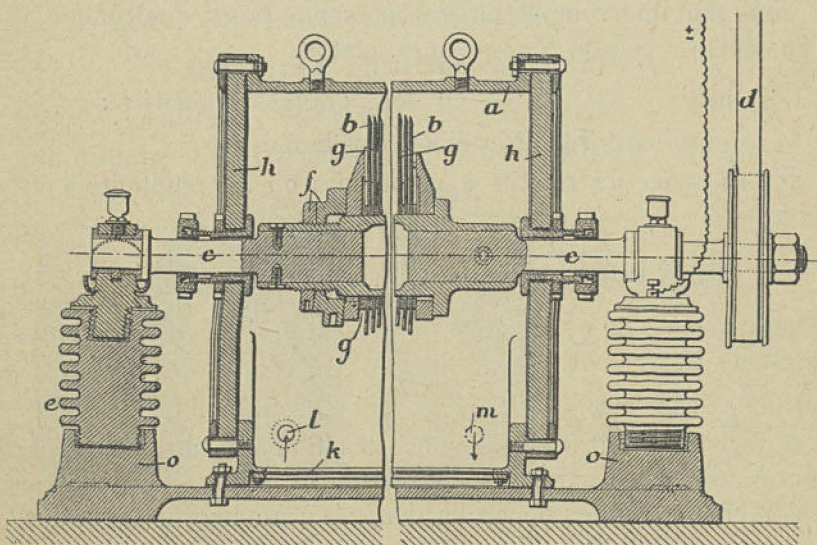


FIG. 2. — Ozoneur rotatif horizontal (coupe).

les secteurs pleins se trouvent en regard et s'éteint dès qu'ils s'éloignent.

On peut évidemment substituer aux cercles deux autres surfaces de forme quelconque, animées d'un mouvement quelconque.

Les résultats de mes expériences m'ont conduit à donner la préférence aux deux formes d'exécution représentées respectivement par les figures 2, 3 et 4 et les figures 5 et 6.

Ozoneurs horizontaux. — La figure 2 représente une coupe longitudinale d'un ozoneur rotatif type horizontal; la figure 3 représente une vue en bout du même appareil.

L'ozoneur est essentiellement constitué par une cuve en fonte *a* alaisée intérieurement et évidée à sa partie inférieure, suivant deux génératrices. Cette cuve en fonte est fixée sur un solide bâti *o*.

A l'intérieur de la cuve, supportés par un axe rigide *l*, qu'entraîne une poulie isolante commandée par une courroie *d*, sont fixés un grand nombre de disques en tôle d'acier à bords tranchants. Ces disques présentent un évidement ainsi que le montre clairement la figure 3.

Ils sont légèrement décalés l'un par rapport à l'autre, de façon que, groupés, les évidements se présentent sous forme

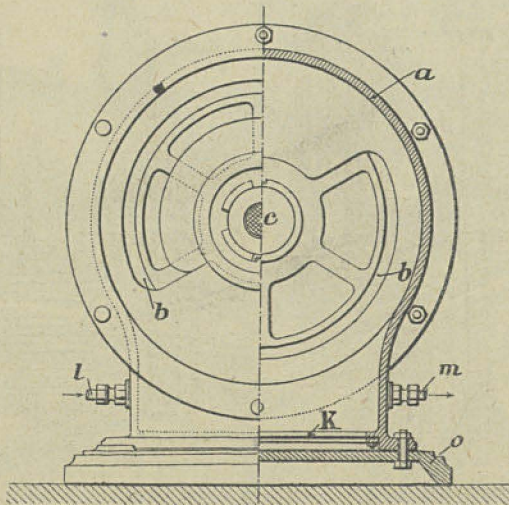


FIG. 3. — Ozoneur rotatif horizontal
(vue en bout et coupe).

d'une large rainure hélicoïdale. Cette disposition a pour but d'éviter les à-coups dans la marche de l'appareil, tant au point de vue électrique, qu'au point de vue mécanique. Les disques sont légèrement écartés à l'aide de rondelles en fonte *g* ; un écrou *f* enserre solidement l'ensemble du système. On peut également grouper les disques par séries et laisser entre deux séries consécutives, un intervalle de quelques centimètres.

La cuve en fonte est fermée par deux glaces *h* qui permettent de suivre la marche de l'appareil.

L'arbre *c* est supporté par deux paliers ordinaires qui reposent sur deux blocs isolants *e* ; l'un des paliers est muni d'une prise de

courants à laquelle aboutit un des fils venant d'un transformateur à haute tension. Le second fil du transformateur est relié à la terre ainsi que le support de l'ozoneur.

Une équidistance absolue règne entre la périphérie des disques biseautés et la surface interne du cylindre en fonte ; cette

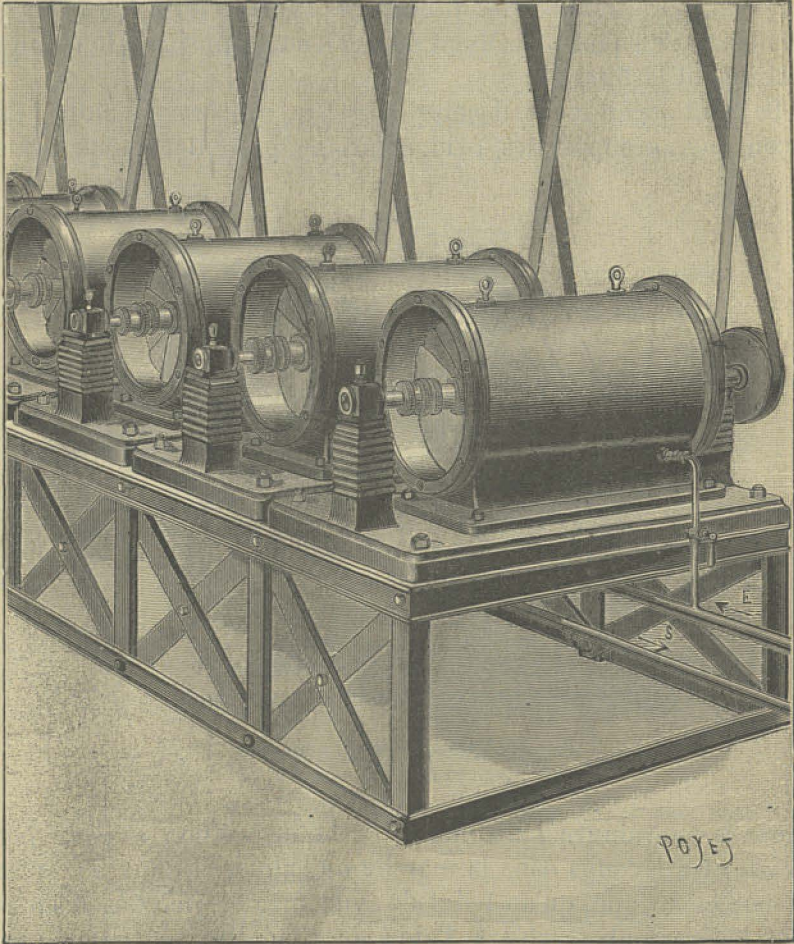


FIG. 4. — Groupe d'ozoneurs rotatifs horizontaux.

équidistance peut varier entre 5 mm et 100 mm. Le chiffre ordinairement adopté est 30 mm, ce qui pour des disques en tôle de 1 mm 5 d'épaisseur, à biseau bilatéral, correspond pour un fonctionnement normal à l'emploi de courants de 25 000 volts.

Les gaz que l'on veut soumettre à l'action de l'éffluve arrivent

dans l'appareil par une tubulure *l* et en sortent par une autre tubulure *m*. Le cylindre *a* est fermé à sa partie inférieure par un joint isolant *k*.

La marche de l'ozoneur se comprend aisément en examinant ce qui se passe pour un seul disque : lorsque le courant électrique est lancé dans l'appareil, des effluves puissants jaillissent entre les bords des biseaux et la surface interne du cylindre en

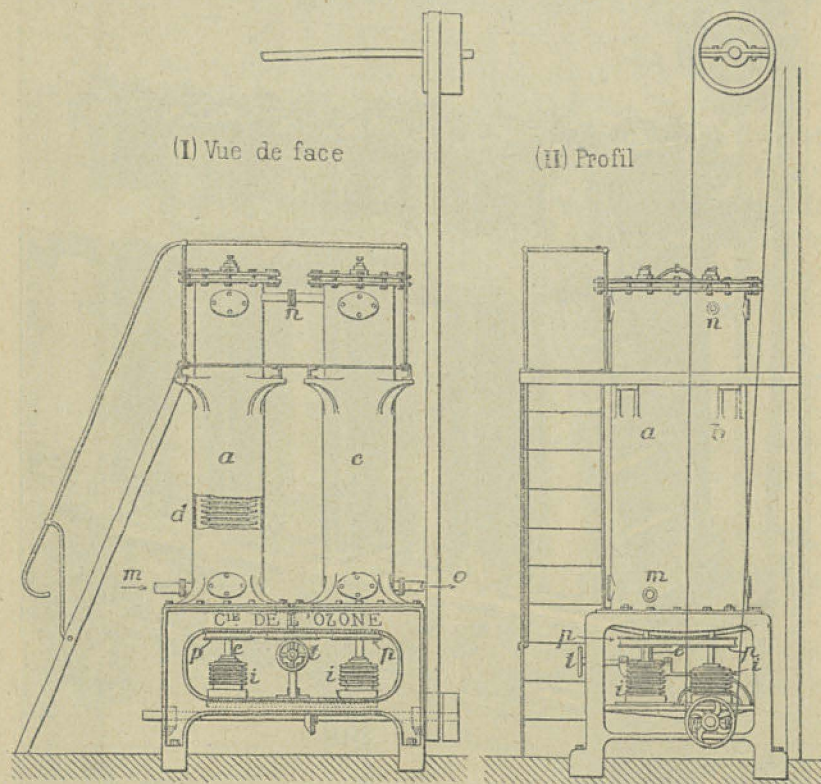


FIG. 5. — Ozoneurs verticaux à cylindres accouplés.

fonte. La partie évidée du disque reste absolument inactive. Si une étincelle vient à éclater, ou si un arc tend à se former, la rupture se produit au moment où l'évidement se trouve vis-à-vis de la partie ajourée du cylindre. Tout danger est donc écarté d'une manière immédiate et certaine.

La même succession de phénomènes se reproduit évidemment pour tous les disques et le résultat final est que l'électrode mobile, pareille à un cylindre de feu, tourne environnée de leurs

violacées intenses, sillonnées de temps en temps par de rapides éclairs aussitôt interrompus.

Sous l'influence de ces décharges, l'oxygène se polymérise et se transforme en ozone.

L'appareil ne chauffe pas. Le mouvement de l'électrode mo-

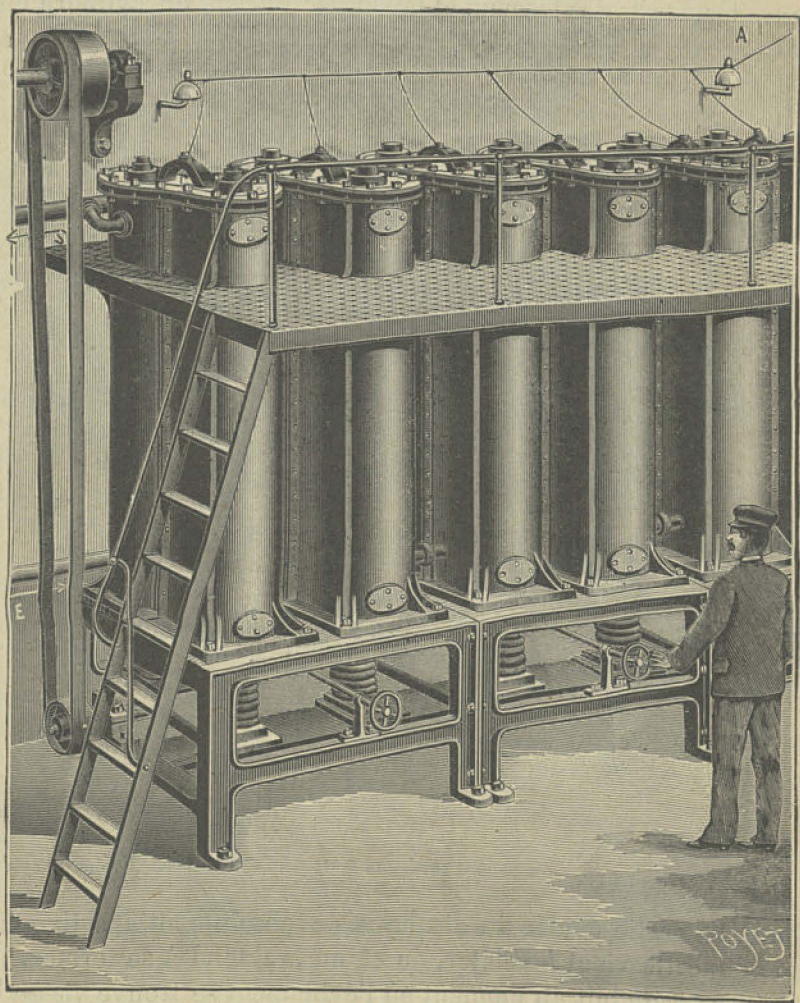


FIG. 6. — Groupe d'ozoneurs rotatifs verticaux.

bilefavorise le brassage des gaz. Les rendements obtenus avec l'oxygène pur, ou simplement avec l'air, sont bien supérieurs à ceux fournis par les anciens appareils à lames de verre.

La figure 4 représente une batterie d'ozoneurs rotatifs horizontaux.

Ozoneurs verticaux. — Les mêmes appareils peuvent fonctionner verticalement.

On peut utiliser dans ce cas, soit un cylindre seul, fermé latéralement par une glace, soit deux cylindres accouplés, l'un servant de fermeture à l'autre.

La figure 5 représente vu de face et vu de côté, un groupe de deux ozoneurs verticaux à cylindres accouplés.

Les deux électrodes mobiles sont supportées chacune par deux crapaudines isolantes *i*. Les cuves en fonte *a, b, c*, sont supportées par un bâti en fonte, de forme appropriée. Le mouvement de rotation est communiqué aux électrodes mobiles par deux poulies isolantes *pp* commandées par une courroie. Le gaz, air ou oxygène, arrive à l'intérieur de l'ozoneur par une tubulure *m* et en sort par une autre tubulure *n* située à la partie opposée, pour passer de là dans l'ozoneur voisin et s'échapper finalement par la tubulure *o*.

Les cuves peuvent se faire en tôle de fer ou en tout autre métal. Les disques peuvent se remplacer par une simple hélice venue de fonte, à filets de section triangulaire très aigus ou encore par des tôles à dents de scie, simplement découpées à l'emporte-pièce.

L'avantage de ces appareils est de tenir peu de place. Je représente (*fig. 6*) le mode de montage d'une batterie de générateurs doubles verticaux.

Je résume dans le tableau ci-dessous les caractéristiques des appareils qui sont d'un usage industriel le plus courant. Il est évident que ces données peuvent varier dans de larges limites.

SÉRIES	NOMBRE D'ÉLÉMENTS	CYLINDRES		EFFLUVES	POTENTIEL
		DIAMÈTRE	LONGUEUR		
		mètres	mètres		
A 10	10	0,400	0,350	0,030	25 000
A 25	25	0,400	0,525	0,030	25 000
A 50	50	0,400	1,050	0,030	25 000
A 75	75	0,400	1,425	0,030	25 000
A 100	100	0,400	1,800	0,030	25 000
B 150	150	0,400	1,525	0,030	25 000
B 200	200	0,400	2,050	0,030	25 000

La règle que l'on doit suivre, autant que possible, dans la construction de mes appareils est la suivante : *Chercher à obtenir le volume maximum d'effluve avec le poids minimum de métal.*

Les ozoneurs sont protégés contre l'oxydation par une peinture isolante.

Rendements. — Des savants français et étrangers ont étudié mes appareils et mesuré d'une manière très précise les rendements qu'ils peuvent fournir.

Voici, à titre d'indication, les résultats d'une série d'essais effectués avec un ozoneur rotatif *série A 10.*

Je cite ces mesures parce qu'elles ont été faites avec un appareil de dimensions réduites, fournissant des quantités d'ozone facilement mesurables avec toute la précision voulue.

Les grands ozoneurs sont constitués du reste par des éléments identiques à ceux de l'appareil ci-dessus; leur nombre seul varie. Comme le rendement d'un ozoneur est théoriquement proportionnel au volume de l'effluve, c'est-à-dire au nombre d'éléments générateurs, on peut, à l'aide de ces données, déduire les rendements de tous les appareils avec une approximation très suffisante pour la pratique.

Résultats des analyses faites

AVEC UN OZONEUR ROTATIF SÉRIE A 10.

DONNÉES	1	2	3	4	5	6	7	8
Température degrés.	20	25	21	20	23	20	18	15
Durée minutes.	15	15	15	15	7	6	5	5
Air employé litres.	190	574	704	751	489	618	625	728
Ozone produit . . . milligr.	60,75	119,8	132	168,4	95,5	89,1	107,5	131,1
Ozone par heure . . milligr.	243	479,5	528	673,9	819,2	891	1 290	1 573
Ozone par 24 heures. . gr.	5,832	14,508	12,672	16,173	19,660	21,384	30,96	37,752

Avec un ozoneur rotatif, modèle vertical de 2 m, on peut donc atteindre un rendement quotidien de :

619 gr. à 755 gr. d'ozone pur, chiffre extrêmement élevé.

En augmentant le débit d'air on arriverait aisément à plus d'un kilogramme.

Mais nous croyons qu'il vaut mieux, en marche industrielle

normale, compter sur des chiffres moindres, et dans toutes nos études d'installation d'usines, nous leur faisons subir une certaine diminution. Le résultat est, du reste, intimement lié à la concentration que l'on désire obtenir; c'est une considération très importante que l'on ne doit pas oublier lorsqu'il s'agit de l'épuration des eaux. Quoi qu'il en soit, le rendement de mes ozoneurs rotatifs reste beaucoup plus élevé que celui des anciens appareils à lames de verre si fragiles. Ces dernières étant en effet supprimées, l'électricité doit vaincre une résistance beaucoup moindre pour aller d'une électrode à l'autre; de plus, l'échauffement des ozoneurs est nul et après plusieurs heures de marche consécutives, ils ne sont même pas tièdes.

L'énergie électrique, sauf la portion perdue sous forme de lumière, est donc utilisée intégralement à la production d'un effet utile: la polymérisation de l'oxygène.

Il est évident qu'on peut utiliser avec mes ozoneurs rotatifs les différents modes de montage que j'ai décrits il y a plusieurs années, avec les déflagrateurs à étincelle efficace de Hertz, munis ou non, de condensateurs ou de capacités additionnelles.

II. — OZONEURS ROTATIFS A AMORCEURS OU INTERRUPTEURS D'EFFLUVES

Le principe fondamental du fonctionnement de cette série d'ozoneurs, c'est-à-dire les amorçages et les interruptions graduels et successifs de l'effluve entre les divers points en regard des électrodes de l'appareil, est le même que pour les précédents; mais les moyens pratiques de réalisation que j'emploie sont différents.

J'ai imaginé de produire les amorçages et interruptions graduels et successifs de l'effluve en disposant entre des électrodes fixes des disques séparateurs mobiles. Ces derniers sont fractionnés en sections telles que leur passage, entre les armatures en regard des électrodes, permette successivement à l'effluve de jaillir ou rende au contraire ce jaillissement impossible.

L'on conçoit que si les électrodes de noms contraires sont suffisamment éloignées pour que normalement, sans échauffement du milieu gazeux ambiant, l'effluve ne puisse jaillir entre elles, le jaillissement devenant au contraire possible par l'interposition d'un disque conducteur d'épaisseur convenable, il suffira, pour réaliser les amorçages et interruptions graduels et successifs, de faire mouvoir entre les électrodes ainsi éloignées

un disque conducteur à secteurs alternativement pleins et évidés. Inversement si les électrodes de noms contraires sont normalement assez peu éloignées pour permettre à l'effluve de jaillir entre elles, les amorçages et les interruptions graduels et successifs pourront être produits par le passage entre ces électrodes d'un disque isolant d'épaisseur convenable à secteurs alternativement pleins et évidés.

Je représente, à titre d'exemple (*fig. 7 et 8*), deux appareils producteurs de décharges électriques construits d'après ces principes.

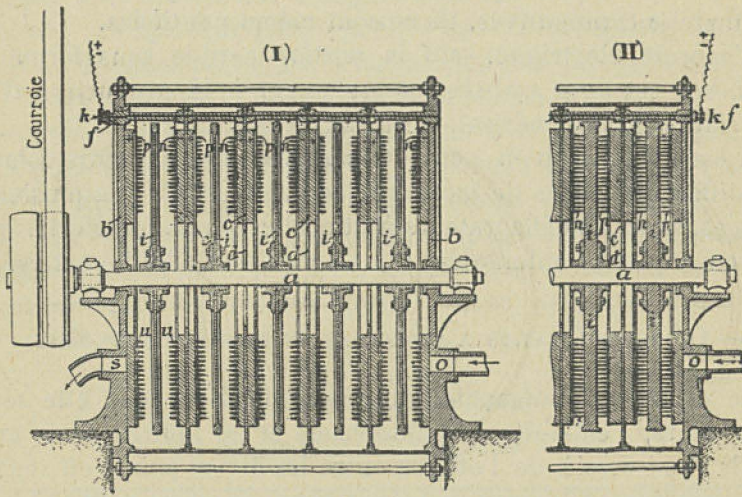


FIG. 7. — Ozoneurs rotatifs à disques amorçeurs et interrupteurs d'effluves.

Ozoneur à amorçeurs d'effluves. — Cet appareil (*fig. 7, I*) est essentiellement constitué par deux séries d'électrodes *p* et *n* soigneusement isolées et fixées à l'intérieur d'un solide bâti en fonte *b* et sur des cloisons *c* qui portent un orifice central *d* pour la circulation des gaz.

Ces électrodes sont placées à une distance telle que l'effluve ne puisse jaillir directement entre elles.

Sur l'arbre *a* sont montés, à mi-distance entre les électrodes, des plateaux conducteurs *i*, d'une épaisseur convenable, et munis de secteurs évidés *y* (*fig. 8, III*).

Deux conducteurs métalliques *f* et *k*, entourés de manchons isolants, amènent le courant à l'appareil.

Si nous désignons :

Par L le chemin que peut franchir l'effluve ;

Par D la distance des électrodes ;

Par E l'épaisseur des plateaux conducteurs ;

L'appareil est construit de telle sorte que l'on ait :

$$1^{\circ} \quad L < D ;$$

$$2^{\circ} \quad D + E = L .$$

Dans ces conditions, les plateaux étant mis en mouvement, l'effluve jaillira entre les pointes des électrodes lorsque les par-

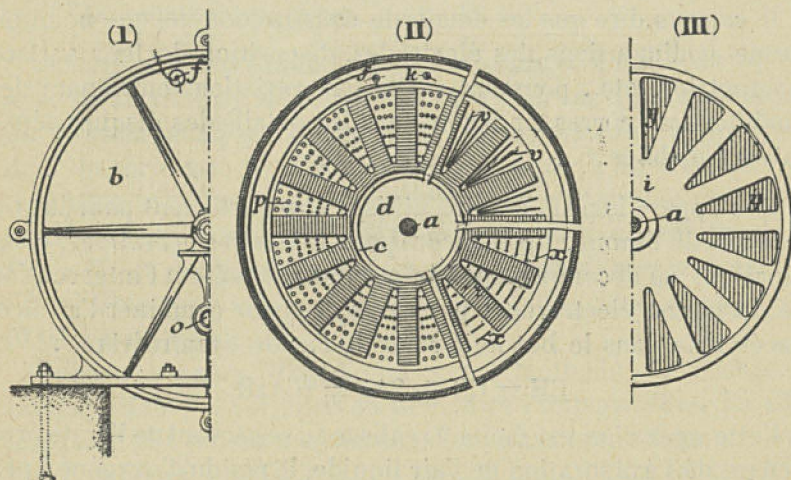


FIG. 8. — (I) Vue en bout d'un appareil. — (II) Modes de montage des électrodes.
(III) Plateaux mobiles.

ties pleines se trouveront entre ces pointes. Mais, aussitôt qu'un secteur évidé se présentera, l'effluve sera interrompu.

L'air, ou l'oxygène pur, arrive par l'orifice o et sort par le tube s , après avoir circulé en zigzag autour des disques séparateurs mobiles.

Ozoneur à interrupteurs d'effluves. — Les plateaux séparant les électrodes de noms contraires p et n (fig. 7, II) sont constitués par un isolant et munis de secteurs ajourés.

Les électrodes sont assez rapprochées pour que l'effluve jaillisse normalement entre leurs pointes. L'interposition d'un isolant empêchera cet effet de se produire et interrompra évidem-

ment tout court-circuit dangereux qui aurait pu précédemment se former.

Dans ce cas, l'ozoneur est construit de telle sorte que, si nous donnons à L et à D les mêmes valeurs que celles indiquées plus haut, et si nous représentons par E l'épaisseur des plateaux isolants, nous avons :

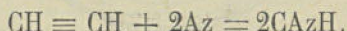
$$1^{\circ} \quad L = D;$$

$$2^{\circ} \quad D + E > L.$$

La figure 8 (II) indique le mode de groupement des électrodes. Des secteurs à pointes sont figurés en *p*, des lames à biseau ou à dents de scie en *v* et en *x*.

Il va sans dire que les détails de construction, tel que nombre, forme et dimensions des électrodes, disposition de leur surface conductrice, etc., pourront varier, les variations entraînant des modifications correspondantes dans les détails des disques séparateurs mobiles.

Mes appareils peuvent être utilisés non seulement pour la production de l'ozone, mais encore pour toutes les opérations, combinaisons ou décompositions de gaz qui nécessitent l'intervention de décharges électriques : par exemple, pour combiner l'azote et l'acétylène dans le but de former de l'acide cyanhydrique :



Cette opération est facile à réaliser en se servant de l'azote provenant de l'évaporation de l'air liquide, le résidu d'oxygène à peu près pur pouvant être avantageusement utilisé pour la production de l'ozone.

Les ozoneurs rotatifs des deux classes présentent chacun leurs avantages.

Les premiers sont très simples; l'isolement de la partie mobile ne présente aucune difficulté; leur emploi est sans danger par suite de la mise à la terre de toute la carcasse extérieure.

Dans les seconds, toutes les portions travaillant à haut potentiel sont fixes. Leur principal avantage, c'est qu'ils permettent un réglage plus facile de l'équidistance des électrodes.

Les uns et les autres fonctionnent très bien et donnent d'excellents résultats.

L'industrie de l'ozone pénètre, grâce à eux, dans une voie nouvelle.

CHAPITRE II

Dosage de l'ozone.

Les méthodes proposées jusqu'à ce jour pour le dosage de l'ozone étaient uniquement basées sur les propriétés oxydantes de ce gaz. Je les ai perfectionnées et j'en ai imaginé d'autres.

Ce sont les suivantes :

- 1^o Méthode à l'iodure de potassium,
- 2^o Méthode volumétrique,
- 3^o Méthode optique,
- 4^o Méthode baroscopique.

Schœnbein déterminait quantitativement l'ozone en agitant avec de la teinture d'indigo, la masse d'air ou d'oxygène ozonée qu'il voulait analyser. Il employait une solution d'indigo préparée de telle sorte que 10 g étaient décolorés par 1 mg d'ozone.

Bunsen avait indiqué une méthode générale pour le dosage des matières oxydantes. Elle était basée sur la mise en liberté de l'iode d'une solution d'iodure de potassium et sur le dosage de l'iode libre par une solution très étendue d'acide sulfureux (0,03 à 0,04 0/0).

Bunsen proposa d'appliquer cette méthode au dosage de l'ozone. Mais l'expérience en démontre l'impossibilité. En effet, lorsqu'on fait passer un courant d'oxygène ozoné dans une solution d'iodure de potassium, on constate que l'iode est oxydé au fur et à mesure de sa mise en liberté et qu'il s'unit à la potasse résultant de la décomposition de l'iodure, pour former de l'iodate et des périodates de potassium.

Houzeau a modifié la méthode de Bunsen en opérant l'absorption de l'ozone par l'iodure de potassium en présence d'un acide titré en excès.

Dans 10 cm³ d'eau pure contenant 0,0061 g d'acide sulfurique monohydraté, capable de saturer 0,0059 g de potasse équivalent à 0,001 g d'ozone, on ajoute 1 cm³ d'une dissolution d'iodure de potassium renfermant un maximum de 0,02 g d'iodure.

Le mélange est introduit dans un tube de Will, et l'on y fait barboter le courant de gaz ozoné à analyser.

L'oxydation terminée, on élimine, par une ébullition de quelques minutes, l'iode libre. L'évaluation de la potasse produite

se fait en ajoutant à la liqueur oxydée un peu de tournesol et en neutralisant l'acide sulfurique restant par une solution titrée.

Thénard a préconisé l'emploi de l'acide arsénieux, comme corps oxydable. On introduit l'oxygène ozoné que l'on veut analyser dans un flacon jaugé et l'on y verse un volume déterminé d'une dissolution chlorhydrique d'acide arsénieux; on agite énergiquement le flacon, on ajoute à la dissolution arsénieuse 30 cm^3 d'acide sulfurique au centième, et l'on titre l'acide arsénieux restant au moyen d'une liqueur de permanganate de potasse. L'emploi de cette méthode doit être rejeté, car l'absorption de l'ozone par l'acide arsénieux se fait très mal, ainsi qu'ont pu le constater M. Berthelot et M. Soret.

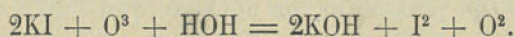
J'effectue, en général, mes dosages d'ozone dans les conditions suivantes :

1° Avec des masses gazeuses considérables peu riches en ozone, en oxydant l'iodure de potassium en solution aqueuse acidulée, et dosant la quantité d'iode mise en liberté au moyen d'une liqueur titrée d'hyposulfite de sodium;

2° Avec de faibles masses très riches en ozone, soit en appliquant le procédé précédent en vase clos, soit en utilisant une des méthodes physiques indiquées plus loin.

I. — DOSAGE DE L'OZONE PAR L'IODURE DE POTASSIUM.

L'ozone réagit sur l'iodure de potassium en solution aqueuse de la manière suivante :



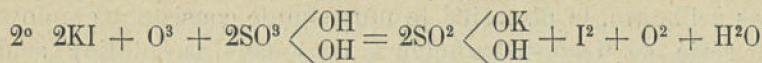
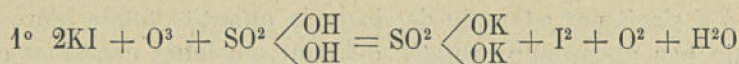
Comme je l'ai dit plus haut, l'iode se combine presque immédiatement à la potasse pour donner de l'iodate et des périodates de potassium.

Si l'on a soin d'opérer en présence d'un excès d'acide sulfurique, la potasse est absorbée et l'iode reste en état de liberté.

Mais l'emploi de l'acide sulfurique trop concentré décomposant facilement l'iodure de potassium peut fausser les résultats des dosages.

Aussi ai-je fait, avant d'appliquer ce procédé, une série d'expériences en vue de déterminer exactement la quantité minimum d'acide nécessaire pour que l'iode soit intégralement précipité.

En présence de l'acide sulfurique, la réaction pouvait se passer de deux manières :



Dans le premier cas, il y a formation de sulfate neutre de potassium, dans le second cas, formation de sulfate acide.

Pour 166 g d'iodure de potassium, il fallait donc employer soit 49 g, soit 98 g d'acide sulfurique.

Or, si l'on fait réagir l'ozone sur une solution aqueuse contenant 4,9 g d'acide sulfurique et 16,6 g d'iodure de potassium par litre, on constate des phénomènes analogues à ceux qui se produisent lorsqu'on opère sur une solution neutre d'iodure de potassium : la liqueur se colore d'abord en rose par suite de la mise en liberté d'iode, l'intensité de la coloration passe par un maximum, puis s'annule complètement sans qu'une trace d'iode soit précipitée.

Si l'ozone réagit au contraire sur une solution aqueuse contenant 9,8 g d'acide sulfurique et 16,9 g d'iodure de potassium par litre, la réaction dominante est celle de l'acide sulfurique et tout l'iode est précipité.

Le premier oxhydrile de l'acide sulfurique a donc pour le potassium une affinité plus forte que le second. Cette affinité est d'un ordre de grandeur plus élevé que l'affinité de l'iode pour le potassium, tandis que c'est le phénomène inverse qui a lieu en ce qui concerne le second oxhydrile.

J'ai vérifié le fait de la manière suivante : dans un flacon contenant 4,15 g d'iodure de potassium chimiquement pur et 2,45 g d'acide sulfurique dissous dans 250 cm³ d'eau distillée, j'ai fait passer un courant d'oxygène ozoné, jusqu'à ce que la liqueur entièrement éclaircie ne précipite plus d'iode. Le précipité, soigneusement recueilli et séché, a été pesé. Voici les résultats que j'ai trouvés :

		I. Calculé.		I. Trouvé.
Iodure de potassium....	4,15 g	3,17 g		3,164 g

Il suffit donc, pour éviter toute formation d'iodate ou de periodate alcalin, d'ajouter à la solution iodurée la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour qu'un seul oxhydrile soit saturé par le potassium mis en liberté.

Dispositif expérimental. — Lorsqu'on opère sur de grandes masses gazeuses avec de l'ozone relativement peu concentré,

quand il s'agit par exemple de doser la quantité totale d'ozone fournie par un ozoneur rotatif, débitant plusieurs centaines de litres à l'heure, le dispositif le plus simple consiste à employer une série de flacons barboteurs contenant la solution acide d'iodure de potassium.

L'ozone attaque le caoutchouc avec une extrême violence; le liège, quoique résistant mieux, est attaqué.

Il faut donc, autant que possible, n'employer aucun de ces deux corps dans le montage des barboteurs; cependant des connexions en tubes de caoutchouc, suiffés intérieurement, résistent un peu mieux et l'on peut, dans certains cas, en tirer parti. J'utilise de préférence des flacons laveurs bouchés à l'émeri et munis, pour les connexions, de doubles joints au mercure.

Quand on ne dépasse pas un débit de 500 l à l'heure, cinq flacons barboteurs de 1 l de capacité dans chacun desquels se trouvent 180 cm³ environ, d'une solution de 9,8 g d'acide sulfurique et 16,6 g d'iodure de potassium dans un litre d'eau distillée, suffisent pour retenir tout l'ozone.

On le constate du reste au moyen d'un flacon témoin contenant soit une solution de sulfate d'indigo que décolore l'ozone, soit une solution d'iodure de potassium amidonné qui bleuit à son contact.

Un compteur à gaz placé à la suite des barboteurs indique le nombre de litres qui passent.

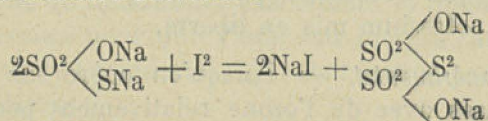
Manuel opératoire. — L'appareil étant ainsi disposé, on y fait circuler le courant d'air ou d'oxygène ozoné que l'on veut analyser.

On réunit ensuite le contenu de tous les barboteurs : l'iode mis en liberté par l'ozone se dissout dans l'excès d'iodure de potassium non décomposé.

On rince soigneusement les barboteurs, on amène à 1 l le volume de la liqueur d'iode, et l'on dose sur 10 cm³ l'iode libre au moyen d'une solution d'hyposulfite de sodium. Le résultat obtenu, multiplié par 100, donne l'iode total.

Pour éviter tout calcul, j'emploie une solution d'hyposulfite de sodium dont 1 cm³ correspond exactement à 1 mmg d'ozone.

La réaction de l'hyposulfite de sodium sur l'iode peut s'exprimer de la manière suivante :



158 g d'hyposulfite de sodium correspondent donc à 127 g d'iode. Or on sait que dans l'action de l'ozone sur l'iodure de potassium, un tiers seulement de la molécule réagit, les deux autres tiers étant simplement ramenés à l'état d'oxygène ordinaire; autrement dit, il faut 24 g d'ozone pour mettre en liberté 127 g d'iode.

L'entrée, en réaction, de 158 g d'hyposulfite de sodium, correspond donc à la destruction de 24 g d'ozone.

1 cm³ d'une solution contenant par litre :

$$\frac{128}{24} = 6,583 \text{ g}$$

d'hyposulfite de sodium pur équivaudra à 1 mg d'ozone.

La solution titrée d'hyposulfite de sodium étant introduite dans une burette graduée, on la verse dans la liqueur d'iode jusqu'à décoloration complète.

Mon procédé est susceptible d'une très grande précision.

Comme il est facile de lire des dixièmes de centimètre cube, on peut faire aisément des dosages d'ozone à un dixième de milligramme près.

Destruction de l'ozone en vase clos. — Si l'on veut faire des dosages d'ozone très concentré, la méthode que je viens d'indiquer n'est plus applicable.

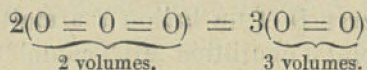
L'ozone concentré réagissant sur une solution acide d'iodure de potassium dégage, en effet, d'abondantes vapeurs blanches dont la composition n'est pas définie, mais qui ne sont probablement qu'un peroxyde d'hydrogène.

Ces vapeurs, qui se forment au détriment de l'ozone, diminuent évidemment la quantité d'iode mis en liberté et faussent dans de grandes proportions les résultats de l'analyse.

On évite cette cause d'erreur en opérant en vase clos et en agitant la solution iodurée et la masse gazeuse ozonée, jusqu'à ce que les vapeurs blanches soient complètement détruites et absorbées.

II. — MÉTHODE VOLUMÉTRIQUE.

L'ozone soumis à une température de 250° se décompose et redevient oxygène comme l'indique la réaction suivante :



L'augmentation de volume que subit une masse gazeuse ozonée lorsqu'on la ramène dans les conditions initiales, après l'avoir soumise à une température élevée, est donc la moitié du volume précédemment occupé par l'ozone.

C'est sur ce principe qu'est basé le fonctionnement des appareils que j'ai établis pour le dosage volumétrique de l'ozone.

Je ne décrirai que le plus simple.

Appareil. — Il se compose (*fig. 9*), d'un manchon en verre A fermé à une extrémité et portant à l'autre un tube gradué B

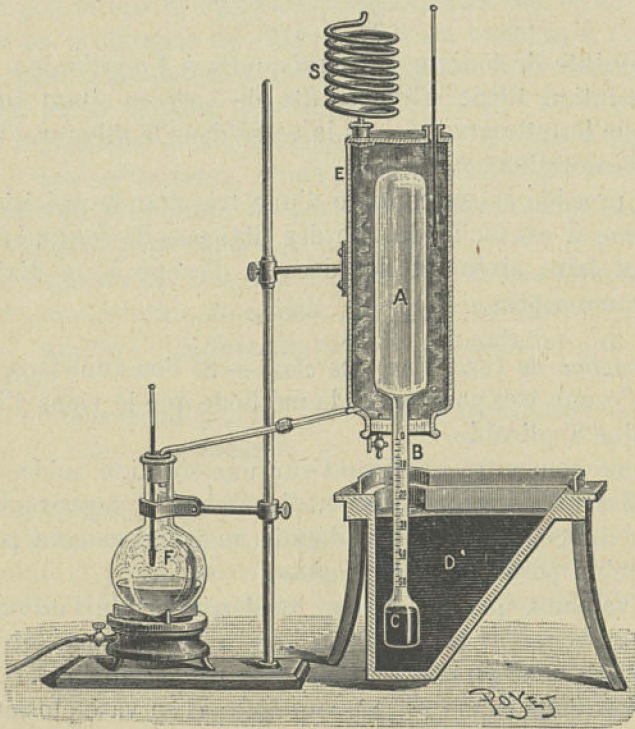


FIG. 9. — Appareil pour le dosage volumétrique de l'ozone.

divisé en dixième de centimètre cube; une petite cloche C termine le tube B et permet à la masse gazeuse contenue dans le manchon de se dilater librement. Un cylindre en cuivre F, muni d'un thermomètre, d'un serpentín réfrigérant S et formant à volonté bain de vapeur ou bain d'eau, enveloppe le manchon. Une cuve à mercure D et un ballon F à moitié rempli de benzoate d'amyle (point d'ébullition 261°) complètent l'appareil.

Manuel opératoire. — Le récipient A, après avoir été soigneusement lavé et séché, est rempli, par déplacement de l'air qu'il contient, de l'oxygène ozoné que l'on veut analyser.

On le porte alors sur la cuve à mercure. Le cylindre E étant rempli d'eau dont un thermomètre permet de connaître la température, on aspire le contenu du manchon jusqu'à faire affleurer le mercure au trait O.

On vide ensuite le cylindre E et l'on y fait arriver, au moyen du ballon F un courant de vapeur de benzoate d'amyle. Au bout d'un quart d'heure, l'ozone contenu dans le manchon est complètement détruit.

On laisse refroidir l'appareil, puis on remet de l'eau dans le cylindre E.

La masse gazeuse étant ramenée dans les conditions initiales, on constate que son volume a augmenté d'une quantité v , qu'on lit sur l'éprouvette B.

Soient :

V le volume initial de l'oxygène ozoné, à la pression H_1 et à la température t_1 ;

$V + v$, le volume, après décomposition de l'ozone, à la pression H_2 et à la température t_2 .

Le volume v_0 de l'ozone contenu dans le gaz analysé, à 0° et sous 760 mm , sera :

$$v_0 = 2 \left[\left(\frac{V + v}{1 + 0,00375 t_2} \right) \frac{H_2}{760} - \left(\frac{V}{1 + 0,00375 t_1} \right) \frac{H_1}{760} \right],$$

et son poids : $p = v_0 \times 1,6584 \times 0,001293$.

III. — MÉTHODE OPTIQUE.

L'ozone vu sous une certaine épaisseur est bleu. Toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité de la coloration est fonction de la teneur en ozone du mélange gazeux que l'on examine.

Supposons que nous ayons établi une échelle de teintes indiquant à quelle teneur en ozone correspond une intensité de coloration déterminée, pour un tube ou une série de tubes de même longueur l , soumis à la température t et à la pression H .

Pour déterminer la teneur en ozone d'un gaz contenu dans un tube ou une série de tubes de même longueur, soumis à la même température et à la même pression, il nous suffira de ramener,

à l'aide d'un dispositif approprié, la coloration observée à une des colorations de l'échelle des teintes : par simple lecture, nous déduirons la teneur en ozone du gaz étudié.

Tel est le principe de la méthode optique.

Appareil. — L'appareil qui permet de l'appliquer est constitué par une série de tubes $T_1, T_2, t_1, t_2, T'_1, T'_2$, divisés chacun en deux parties par des cloisons médianes M_1, m, M_2 .

J'indique deux de ces tubes en coupe dans le dessin ci-contre (*fig. 10*).

Dans la moitié de chaque tube T_1, t_1, T'_1 , circule le gaz ozoné à analyser. L'autre moitié est remplie d'air seulement. Les tubes sont fermés par des glaces X, X' .

L'air ozoné arrive dans le tube T_1 , par la tubulure E vue en élévation latérale (*fig. 10, II*), et il sort par la tubulure S fixée sur le tube T'_1 . Un thermomètre a fixé sur le devant de l'appareil et un manomètre M branché sur la conduite d'admission de l'air ozoné indiquent la température et la pression du gaz à analyser.

Un système de deux prismes en verre, colorés en bleu p_1, p_2 , à faces extérieures parallèles et pouvant glisser l'un sur l'autre, constitue l'échelle des teintes (*fig. 10, Ia, Ib*) ; ces prismes forment en réalité une lame d'épaisseur variable.

Ils se manœuvrent à l'aide d'une tige filetée F , portant des filets orientés en sens contraire et commandés par la virole V_2 .

Les rayons lumineux émis par une source disposée sous la glace, traversent, d'une part l'atmosphère ozonée contenue dans les compartiments T_1, T'_1 , d'autre part la couche d'air contenue dans les compartiments T_2, T'_2 .

Le prisme à réflexion totale p , qui coiffe la branche horizontale des tubes et le miroir N disposés à la partie inférieure sous la glace X_1 , renvoient les images observées dans le champ d'une lunette L que la virole V_1 permet de mettre au point.

Les flèches indiquent le trajet des faisceaux lumineux. On voit dans la coupe que le bi-prisme est interposé sur le faisceau ayant traversé les compartiments contenant l'air pur.

Le prisme p_1 porte un vernier v qui se meut devant une échelle e , qui porte une graduation indiquant, en milligrammes d'ozone par litre d'air à 0° et sous une pression de 760 mm , la teneur en ozone du mélange gazeux soumis à l'analyse. Une table jointe à l'appareil permet de faire aisément les corrections de pression et de température.

Mode opératoire. — J'indique (fig. 11) ce que l'œil perçoit dans le champ de la lunette :

1° Quand il n'y a pas d'ozone dans l'appareil, le demi-cercle

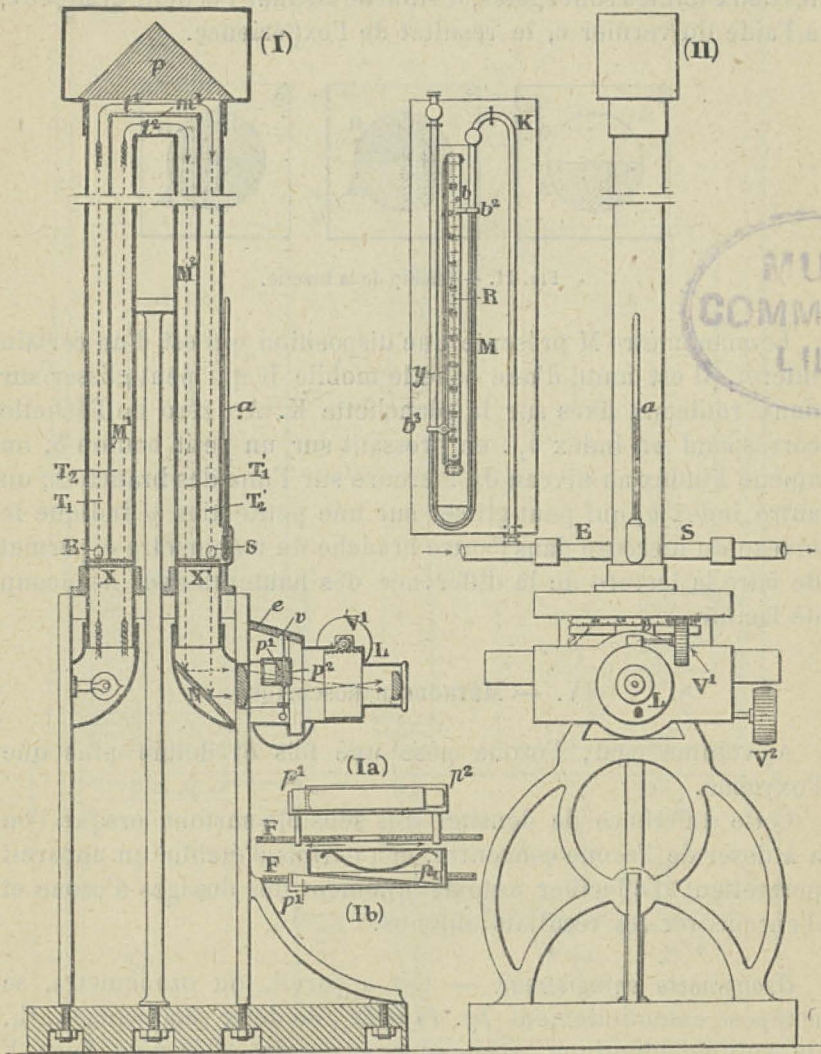


FIG. 10. — Appareil pour les analyses colorimétriques.

inférieur A est légèrement coloré en bleu par suite de l'interposition du bi-prisme sur une portion du faisceau ;

2° Quand l'air ozoné pénètre dans les tubes T₁, T'₁, la partie

supérieure du demi-cercle O prend une teinte bleue qui diffère de celle de la partie inférieure.

3° En manœuvrant la virole V_2 , on fait varier l'épaisseur du bi-prisme qui donne la coloration à la partie inférieure. Quand les deux teintes sont égales, il suffit de lire sur l'échelle graduée e , à l'aide du vernier v , le résultat de l'expérience.

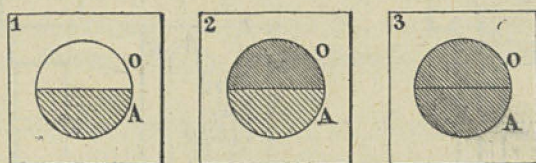


FIG. 11. — Champ de la lunette.

Le manomètre M présente une disposition qui est d'un certain intérêt. Il est muni d'une échelle mobile R qui peut glisser sur deux rouleaux fixés sur la planchette K. Au zéro de l'échelle correspond un index b_2 : en pressant sur un petit bouton b , on amène l'index au niveau du mercure sur l'une des branches ; un autre index b_3 qui peut glisser sur une petite tige y indique le niveau du mercure dans l'autre branche du manomètre et permet de faire la lecture de la différence des hauteurs avec beaucoup de facilité.

IV. — MÉTHODE BAROSCOPIQUE.

A volume égal, l'ozone pèse une fois et demie plus que l'oxygène.

Cette différence de densité, très sensible surtout lorsque l'on a à doser de l'ozone concentré, m'a permis d'établir un appareil permettant d'effectuer automatiquement des dosages d'ozone et d'enregistrer les résultats obtenus.

Ozonomètre enregistreur. — Cet appareil, ou ozonomètre, se compose essentiellement (*fig. 11 et 12*), de deux récipients C_1 , C_2 , de volume identique, suspendus aux extrémités d'un fléau F que supporte une fourche S.

Le récipient C_1 est hermétiquement fermé ; il est muni d'un style à pointe sèche Y, se déplaçant devant une feuille de papier quadrillé fixée sur un cylindre mobile I qu'anime un mouvement d'horlogerie H : c'est le cylindre compensateur. Il est plongé

dans la même atmosphère que le cylindre C_2 . Les variations de poussée provoquées par les changements de pression et de tem-

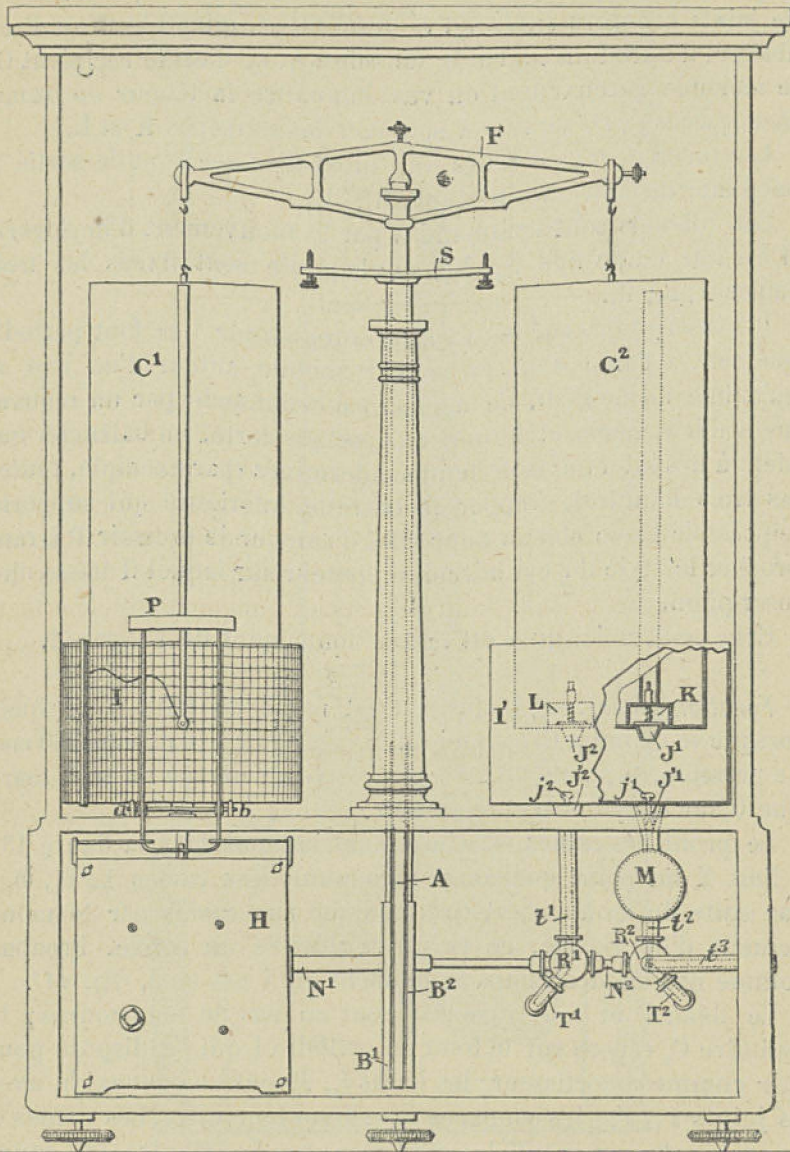


FIG. 12. — Ozonomètre enregistreur.

pérature que subissent ces deux cylindres s'annulent, car elles sont constamment égales et de signes contraires.

Le cylindre C_2 est muni à sa partie inférieure de deux ouvertures à soupape K et L. A l'ouverture K est adapté un tube qui se prolonge jusqu'à la partie supérieure du cylindre ; deux paires de joints coniques J_1, J'_1, J_2, J'_2 permettent, quand le fléau F est abaissé, d'introduire, à l'aide de tubes t_1, t_2 , dans le récipient C_2 , le mélange gazeux dont on veut connaître la teneur en ozone. Deux pièces j^1, j^2 , servent à soulever les soupapes K et L.

Les tubes t^1, t^2 sont reliés aux tubes d'entrée T_1 et de sortie T_2 par l'intermédiaire des robinets R_1, R_2 .

Ces robinets sont commandés par le mouvement d'horlogerie H à l'aide d'une tige N_1, N_2 , sur laquelle sont fixées les trois cames A, B_1, B_2 .

Les inscriptions sur le cylindre enregistreur T se font périodiquement à l'aide d'un presseur P mobile autour d'un axe ab qu'anime un doigt D. Ce dernier est commandé par un mouvement d'horlogerie et forme, en quelque sorte, un balancier qui vient à des intervalles de temps déterminés (par exemple, toutes les trois minutes), frapper la barrette inférieure qui supporte le presseur P. Ce choc a pour effet d'amener le presseur P à rapprocher le style du cylindre enregistreur sur lequel il laisse une inscription.

Cela posé, voici quel est le fonctionnement de l'appareil.

Fonctionnement. — L'appareil est réglé de telle sorte que, lorsque le cylindre C_2 est plein d'oxygène pur à 0° et sous 760 mm de pression, la pointe du style se trouve au niveau du trait marqué 0 sur le cylindre enregistreur.

Le profil des cames est clairement indiqué dans la figure 13.

Soit X un point quelconque commun aux cames A, B_1, B_2 ; par suite du mouvement communiqué aux cames par le mouvement d'horlogerie, ce point va décrire un cercle. Prenons comme origine des temps le moment où X est en Z_1 (fig. 14).

Le fléau F et son support S sont au bas de leur course; le cylindre C_2 repose sur le fond du cylindre I qui est disposé pour agir comme amortisseur; les joints J_1, J_2 sont en connexion avec les joints J'_1, J'_2 ; les soupapes K et L sont ouvertes. Les cames et les robinets occupent les positions que je montre en coupe à gauche de Z_1 .

L'oxygène ozoné arrivant par le robinet R_1 pénètre dans le cylindre C_2 , suit le trajet indiqué par les flèches, et sort par la tubulure T_2 fixée sur le robinet R_2 .

Le mouvement d'horlogerie conserve le système une minute environ dans cette position, c'est-à-dire qu'il maintient les

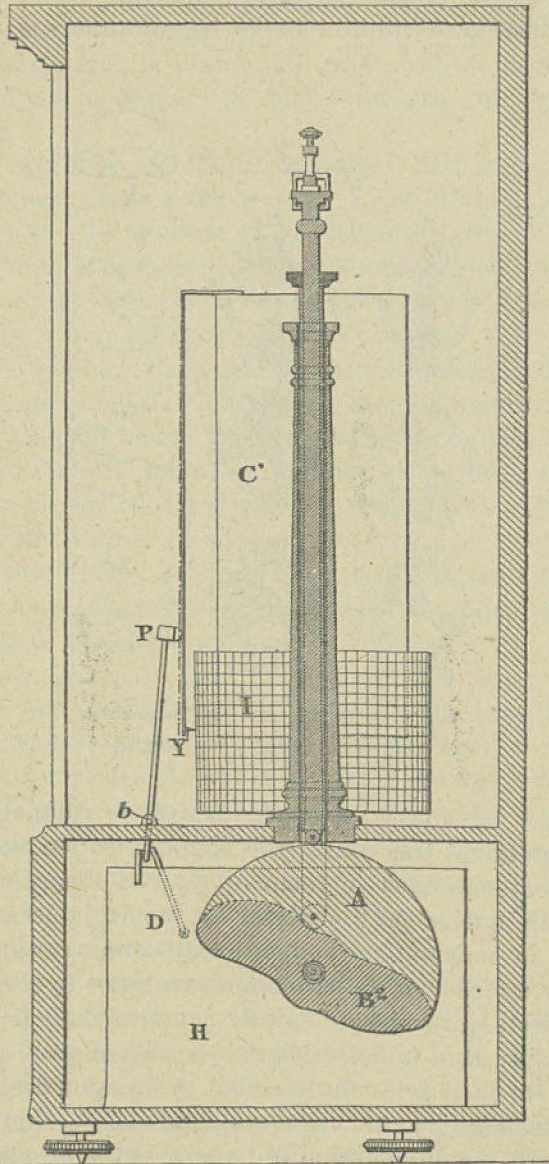


FIG. 13. — Profil des cames et fonctionnement du style enregistreur.

robinets ouverts assez longtemps pour que la masse gazeuse contenue dans le cylindre ait le temps de se renouveler com-

plètement; le gaz pénétrant par la soupape L, chasse le gaz qui remplissait précédemment le cylindre C_2 et qui s'échappe pendant le renouvellement par la soupape K.

Le remplissage terminé, l'axe $N_1 N_2$ continue son mouvement

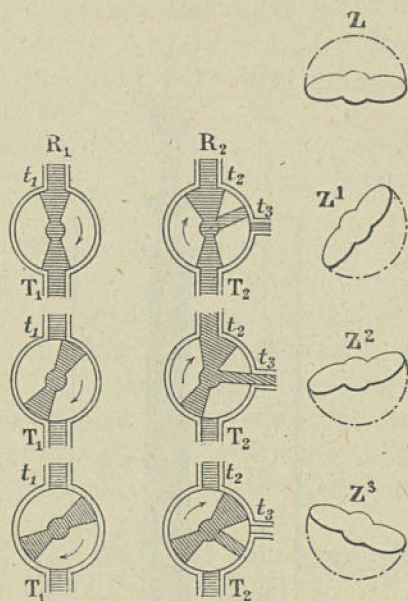


FIG. 14. — Schéma montrant les positions relatives des cames et des robinets.

de rotation; lorsque X est en Z_2 (fig. 14) le robinet R_2 établit, pendant un temps très court, une communication avec la masse gazeuse contenue dans le récipient C_2 et l'atmosphère. On est ainsi certain que le gaz à analyser est bien à la pression atmosphérique au moment de l'expérience. Cette pression peut, du reste, être donnée par un baromètre enregistreur. M est un réservoir de sûreté qui empêche l'air de pénétrer dans le cylindre C_2 lorsque la pression atmosphérique est plus élevée que celle du cylindre. On peut avoir directement la pression du gaz en branchant un manomètre sur la conduite qui l'amène. Un thermomètre monté sur la même conduite indiquera sa température.

Quand X arrive en Z_3 , les robinets R_1 et R_2 sont fermés et, par suite de l'obliquité de la disposition des tubes T_1 , T_2 , ils ne se rouvriront de nouveau, pour recommencer la série d'opérations que je viens de décrire, que lorsque X reviendra en Z_1 .

X dépassant Z_3 , les cames soulèvent le fléau et son support. Mais les cames B_1 , B_2 laissent bientôt retomber le support S qui dégage alors le fléau F.

Le mouvement d'horlogerie arrête les cames une minute environ. Le système mobile prend alors une position d'équilibre qui est fonction de la teneur en ozone du gaz contenu dans le cylindre C_2 .

Quand l'équilibre est établi, le doigt D fait osciller le pressoir P qui vient presser sur le style Y; ce dernier inscrit à la température et à la pression de l'expérience, sans qu'on ait aucune correction à faire pour les variations de poussée que subit le cylindre C_2 , par suite des changements de pression et de température, la teneur en ozone du gaz à analyser.

Des tables jointes à l'appareil permettent aisément de ramener à 0° et à la pression de 760 mm les lectures faites, si cela est nécessaire. On peut même faire automatiquement ces corrections à l'aide de cavaliers mobiles supportés par le fléau et déplacés respectivement par les tiges à leviers d'un thermomètre et d'un baromètre métallique. Le plus simple, quand on veut avoir des résultats absolument comparables, est d'introduire dans le cylindre C_2 une masse gazeuse préalablement amenée à la température de 0° et sous la pression de 760 mm.

Quoi qu'il en soit, l'inscription une fois faite, les cames continuent leur mouvement de rotation; le support S vient s'appliquer sous le fléau F, tous deux descendent, Les connexions s'établissent entre les joints J_1 , J_2 , J_1' , J_2' , les robinets s'ouvrent de nouveau et la série des opérations que je viens de décrire recommence.

Un cycle complet s'accomplit en trois minutes; on a donc sur le cylindre enregistreur vingt inscriptions par heure, ce qui donne une courbe presque ininterrompue.

L'appareil que je viens de décrire peut être modifié de manière à fonctionner comme un simple baroscope. Il suffit d'ouvrir le cylindre C_1 et de laisser clos le cylindre C_2 . Si l'on plonge un pareil système dans un mélange d'oxygène et d'ozone, le cylindre C_2 éprouvera une poussée qui sera fonction de la teneur en ozone du mélange gazeux. Mais cette poussée sera fonction également de la pression et de la température et si l'on veut avoir des indications comparables, il sera nécessaire d'assurer la constance de ces deux éléments.

:

Ainsi qu'on le voit, les moyens de doser l'ozone sont nombreux et variés.

Dans la pratique industrielle, on doit donner, à mon avis, la préférence à la méthode basée sur l'emploi de l'iode de potassium. Elle est d'une application facile, et nécessite un matériel très peu dispendieux. En faisant deux dosages par jour et en utilisant en outre le compteur enregistreur que je décrirai plus loin, on aura des indications très précises sur la marche d'une usine ou d'un groupe d'ozoneurs.

Ce mode opératoire est du reste celui qui est suivi à l'usine de la Compagnie de l'Ozone, à Paris, et dans diverses autres installations où fonctionnent nos appareils, en particulier à l'usine de la Société des Parfums du littoral et dans les services de l'Assistance publique de Paris, à l'hôpital Boucicaut.

CHAPITRE III

Épuration et stérilisation des Eaux.

Les eaux, dont Thalès avait fait le principe de toutes choses, jouent un rôle considérable dans l'alimentation. « Une ville paie au choléra et à la fièvre typhoïde le tribut que lui impose l'impureté de ses eaux, a écrit le Professeur Brouardel. »

Pour qu'une eau soit potable, il faut qu'elle présente, non seulement certaines qualités indispensables au point de vue chimique, c'est-à-dire au point de vue des matières qu'elle peut tenir en dissolution ou en suspension, mais encore au point de vue bactériologique, c'est-à-dire en ce qui touche plus particulièrement les germes dont elle est le véhicule et qui s'y développent souvent à l'infini.

Les éléments que l'on rencontre en général dans les eaux potables sont outre l'air et l'acide carbonique, des sels calcaires, magnésiens et alcalins, de la silice et des matières organiques.

Analyse minérale. — Pendant longtemps on s'est contenté d'examiner les eaux au point de vue de leur teneur en sels et en matières organiques, sans se préoccuper de la nature exacte de ces dernières.

La méthode la plus couramment employée pour l'examen des qualités minérales d'une eau, est la méthode hydrotimétrique :

elle repose, on le sait, sur la réaction qui a lieu entre une solution de savon et les sels calcaires et magnésiens tenus en dissolution dans l'eau. Ces derniers donnent, avec l'acide gras du savon, un précipité de savon calcaire ou magnésien insoluble. Les résultats obtenus par cette méthode s'expriment en degrés hydrotimétriques. Voici, pour quelques eaux, l'indication moyenne de ce degré :

Eau distillée	0°
Eau de neige	2°5
— de pluie	3°5
— de la Loire	5°5
— du Rhône	15°
— de la Seine	17°
— de la Vanne	17° à 20°
— de la Marne	23°
— de la Dhuis	24°
— de l'Ourcq	30°
— de Belleville	128°

Au-dessous de 30° les eaux sont réputées excellentes pour la boisson, le blanchissage et la cuisson des légumes.

De 30° à 60°, elles sont impropres aux usages domestiques et peuvent à peine être consommées ou servir dans les appareils à vapeur.

Au-dessus de 60°, elles sont impropres à tous les usages industriels.

Analyse organique. — Une eau peut être reconnue excellente au point de vue hydrotimétrique, mais cependant, porter en elle des germes d'infection et de mort.

A côté de l'élément minéral, se trouve en effet, la matière organique ou organisée.

La matière organique se dose en général, en chauffant l'eau à analyser avec un peu d'acide sulfurique et en y ajoutant une solution faible de permanganate de potassium titrée à l'acide oxalique. Le volume de celui-ci correspond à une certaine quantité d'acide oxalique.

Au laboratoire municipal de Paris, si la quantité des matières organiques contenue dans 1 l d'eau, exprimée en acide oxalique, dépasse 15 mg, l'eau est considérée comme impropre à la consommation.

MM. Pouchet et Bonjean qui ont fait des études très complètes sur les eaux, conseillent de doser les matières organiques concurremment en solution acide et en solution alcaline. On peut tirer de précieuses indications de la comparaison des résultats obtenus.

Analyse bactériologique. — Ce dosage de la matière organique, assez imparfait en lui-même, devient absolument insuffisant quand il s'agit de matières organisées.

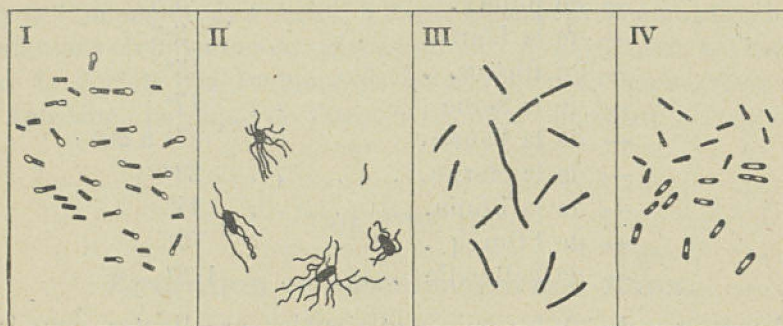


FIG. 15. — Bacilles de la fièvre typhoïde.

(I) *Bacille typhique* avec spores (d'après Chantemesse et Vidal). — (II) *Bacille typhique* avec cils vibratiles (d'après Macé). — (III) *Bacille typhique* d'une culture sur pomme de terre. — (IV) *Bacille typhique* dans les cultures.

Il ne suffit plus en effet, dans ce cas, de savoir le nombre de milligrammes d'oxygène qu'on a dû employer pour faire l'analyse, il faut encore connaître la nature exacte et les propriétés des germes en présence desquels on se trouve. Sont-ils pathogènes ou simplement inoffensifs?

S'ils sont pathogènes, comme le *Bacille typhique* ou le *Coli commune*, l'eau doit être rejetée impitoyablement.

S'ils ne le sont pas, on peut en absorber impunément un nombre considérable.

« Le but que doit poursuivre le micrographe dans les analyses bactériologiques de l'eau, dit le savant docteur Miquel, est sans contredit la découverte des organismes pathogènes, c'est-à-dire des espèces dangereuses pour l'homme et les animaux domestiques qui l'aident de leurs forces musculaires ou le nourrissent de leur chair. »

A côté du *Bacterium coli commune* et du *Bacille d'Eberth*, qui sont

indiscutablement les plus redoutables et les plus répandus dans les eaux, on rencontre quelquefois dans ces dernières le *Spirillum cholerae asiatica*, le *Bacille du tétanos* et le *Bacillus anthracis*.

Des milliers d'autres espèces croissent à côté de celle-là, les unes vivantes, ayant leurs caractères propres et leurs propriétés spéciales. Les autres appartenant à un degré inférieur, se développant comme des champignons.

Parmi les bactéries de la première espèce, je dois citer en première ligne le *B. subtilis*, dont les cellules sont douées d'une énergie vitale considérable, le *B. cloaquae* qu'on trouve dans les eaux d'égouts, le *B. ramosus*, qu'on rencontre fréquemment dans l'eau de rivière et de fontaine, etc. Le *B. liquidus* qui est très fréquent, le *B. mesentericus vulgatus*, qu'on rencontre dans les eaux de la Vanne et de la Seine.

Les organismes végétaux qui appartiennent à la deuxième catégorie sont surtout composés d'algues vertes ou bleues, de diatomées aux très élégants squelettes et de mucédinées.

On rencontre souvent encore dans les eaux les bactéries filamenteuses; elles sont fréquentes dans les eaux résiduelles de fabriques de sucre, les eaux sulfureuses. Les crénothrix forment d'abondants dépôts dans les eaux ferrugineuses et bouchent parfois les conduites.

Dans les tableaux qui suivent et que je dois à l'obligeance du savant directeur du bureau d'hygiène de Nice, M. le professeur Balestre, se trouvent résumés les ravages causés par les germes infectieux dans les principales villes d'Europe et d'Amérique pour la période comprise de 1887 à 1896.

Le premier tableau indique le taux de mortalité générale pour 1 000 habitants.

Le second tableau fournit le taux de mortalité par fièvre typhoïde et gastro-entérite pour 1 000 habitants.

Dans le troisième figure le taux de mortalité par fièvre typhoïde et gastro-entérite pour 1 000 décès.

Ces tableaux, dressés avec le plus grand soin, ont été établis d'après les documents officiels publiés par le Ministère de l'Intérieur.

Le tableau II est particulièrement intéressant. Il constitue en quelque sorte une liste des villes où il est urgent d'améliorer le régime des eaux. On y voit Paris figurer avec une moyenne malheureusement assez élevée.

TABLEAU I. — Mortalité générale.

Période de 1887 à 1896.

Taux pour 1000 habitants.

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
1		1	Le Caire	32,324	52,142	45,493
2		2	Alexandrie	32,178	45,817	39,862
3		3	Madrid	27,743	42,973	36,683
4		4	Moscou	28,704	40,339	35,055
5		5	Lisbonne	28,750	35,921	32,684
	1	6	Rouen	28,955	33,720	32,197
	2	7	Le Havre	27,263	35,100	31,310
	3	8	Brest	24,867	38,520	30,648
6		9	Bucarest	26,708	34,068	30,257
7		10	Lemberg	26,240	34,429	29,998
8		11	Brünn	26,526	34,486	29,846
	4	12	Marseille	26,478	32,490	28,212
	5	13	Montpellier	23,515	33,640	28,040
	6	14	Boulogne-sur-Seine	25,105	30,980	27,853
9		15	Milan	21,094	34,504	27,850
	7	16	Rennes	25,212	31,520	27,836
10		17	Buda-Pesth	22,157	31,996	27,715
11		18	Saint-Pétersbourg	20,579	29,783	27,320
	8	19	Caen	24,870	30,520	27,202
12		20	Kœnisberg	24,994	28,627	27,177
13		21	Breslau	21,850	29,360	27,111
	9	22	Avignon	24,140	31,260	27,071
	10	23	Levallois-Perret	21,486	29,290	26,946
	11	24	Troyes	23,997	33,260	26,937
14		25	Munich	23,190	30,610	26,826
15		26	Dublin	24,532	29,780	26,803
	12	27	Lorient	23,096	31,410	26,549
	13	28	Le Mans	22,880	30,101	26,300



NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
	14	29	Béziers	22,144	30,740	26,254
	15	30	Cherbourg	24,280	29,118	26,140
16		31	Preston	20,748	33,228	26,141
	16	32	Cette	22,023	31,370	26,125
17		33	Belfast	24,572	28,883	26,078
	17	34	Angers	22,439	30,610	26,075
	18	35	Dunkerque	23,377	27,426	25,972
	19	36	Reims	21,828	30,060	25,776
	20	37	Saint-Denis	20,733	34,700	25,692
18		38	Dantzig	22,520	27,670	26,603
	21	39	Toulon	22,506	28,500	25,490
19		40	Venise	20,574	30,766	25,488
	22	41	Nantes	21,260	30,630	25,170
	23	42	Perpignan	22,105	30,460	25,092
	24	43	Lille	22,484	26,261	25,077
20		44	Gènes	21,942	27,456	25,019
21		45	Liverpool	20,274	28,668	24,923
22		46	Florence	20,088	28,546	24,876
23		47	New-York	19,508	33,311	24,728
	25	48	Toulouse	27,735	29,040	24,710
	26	49	Nîmes	21,005	27,790	24,531
24		50	Manchester	19,830	28,570	24,314
25		51	Vienne	21,456	26,008	24,170
26		52	Boston	22,800	25,182	24,165
27		53	Salford	20,938	25,945	24,157
	27	54	Limoges *	21,420	27,540	23,925
28		55	Nuremberg	21,260	27,440	23,833
	28	56	Boulogne-sur-Mer	21,410	28,630	23,729
	29	57	Tours	21,625	26,010	23,560
	30	58	Versailles	20,659	26,479	23,448
29		59	Rome	17,060	29,104	23,212

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
30		60	Gand	18,221	26,539	23,175
31		61	Glasgow	19,907	25,135	23,103
32		62	Strasbourg	21,040	26,200	23,092
33		63	Magdebourg	19,770	28,600	23,079
34		64	Hambourg	17,080	40,590	23,066
	31	65	Nancy	20,652	25,476	23,046
	32	66	Orléans	20,660	24,780	23,017
	33	67	Saint-Étienne	17,680	25,980	22,969
	34	68	Besançon	20,081	25,820	22,878
	35	69	Calais	20,214	23,621	22,810
	36	70	Amiens	20,342	23,234	22,750
	37	71	Bordeaux	20,158	25,240	22,700
	38	72	Roanne	19,678	26,000	22,630
	39	73	Tourcoing	18,951	27,520	22,571
	40	74	Grenoble	18,963	27,070	22,452
	41	75	Clermont-Ferrand	19,197	24,870	22,429
35		76	Berlin	17,560	28,980	21,971
	42	77	Roubaix	18,903	25,109	21,890
36		78	Bolton	18,740	24,002	21,841
	43	79	Paris	19,063	23,360	21,770
37		80	Turin	16,373	24,972	21,656
38		81	Sheffield	17,716	24,913	21,370
	44	82	Angoulême	18,046	24,350	21,311
39		83	Dresde	19,280	23,920	21,301
40		84	Berne	19,558	23,953	21,234
	45	85	Dijon	18,763	22,765	21,230
	46	86	Poitiers	17,702	24,590	21,206
	47	87	Saint-Quentin	19,213	24,330	21,223
	48	88	Lyon	18,587	23,220	21,179
41		89	Anvers	16,341	28,398	20,821
42		90	Durdée	18,273	23,860	20,545

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
43		91	Leeds	17,820	22,839	20,479
44		92	Philadelphie	17,633	22,302	20,450
45		93	Leipzig	18,610	23,070	20,351
46		94	Bruxelles	18,507	22,349	20,292
47		95	Amsterdam	18,846	22,957	20,199
48		96	Birmingham	17,837	22,104	20,152
49		97	Christiania	16,233	23,068	19,976
50		98	Hanovre	18,120	21,520	19,965
51		99	Stockholm	16,971	23,262	19,931
52		100	Newcastle	18,241	21,010	19,676
53		101	Genève	16,320	25,172	19,652
54		102	La Haye	15,641	24,364	19,612
55		103	Édimbourg	17,163	21,489	19,556
56		104	Aberdeen	17,424	22,192	19,549
57		105	Londres	17,394	21,371	19,419
58		106	Cardiff	14,899	21,946	19,290
59		107	Norwich	18,684	19,944	19,175
60		108	Stuttgart	17,410	20,610	19,121
61		109	Birkenhead	18,006	20,253	18,962
62		110	Chicago	13,468	23,126	18,745
63		111	Brême	16,009	20,190	18,729
64		112	Bradfort	15,756	22,128	18,716
65		113	Liège	15,959	20,749	18,648
66		114	Bristol	16,846	20,870	18,643
67		115	Francfort	16,240	20,290	18,489
	49	116	<i>Bourges</i>	<i>16,490</i>	<i>20,960</i>	<i>18,410</i>
68		117	Nottingham	16,236	19,827	18,091
69		118	Portsmouth	15,112	19,459	17,969
70		119	Bâle	15,333	19,343	17,048
71		120	Brighton	15,014	19,170	16,756
72		121	Croydon	13,030	16,256	14,306

TABLEAU II. — Mortalité par fièvre typhoïde et gastro-entérite.

Période de 1887 à 1896.

Taux pour 1 000 habitants.

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
1		1	Le Caire.	7,57	20,27	14,630
2		2	Alexandrie	6,36	13,32	10,256
3		3	Moscou	3,90	10,97	6,264
	1	4	<i>Rouen</i>	3,69	8,68	6,050
	2	5	<i>Troyes</i>	3,72	8,18	5,356
	3	6	<i>Le Havre</i>	2,17	9,25	5,297
4		7	Gand	3,04	6,64	4,832
5		8	Kønisberg.	4,08	6,14	4,767
6		9	Munich	0,64	6,00	4,724
	4	10	<i>Dunkerque</i>	3,46	5,50	4,604
	5	11	<i>Reims</i>	3,25	5,87	4,469
7		12	Dantzig	2,98	4,94	4,065
	6	13	<i>Boulogne-sur-Seine</i>	2,98	4,90	4,009
8		14	Saint-Pétersbourg	1,21	5,47	3,991
9		15	Magdebourg	2,16	5,79	3,857
	7	16	<i>Roubaix</i>	2,71	4,85	3,848
	8	17	<i>Lille</i>	3,06	5,53	3,846
	9	18	<i>Avignon</i>	2,31	5,55	3,582
10		19	Lemberg	2,97	4,76	3,564
	10	20	<i>Saint-Denis</i>	2,42	5,34	3,562
11		21	Bucarest	2,29	4,77	3,558
12		22	Strasbourg	2,89	4,00	3,512
	11	23	<i>Brest</i>	1,61	5,34	3,391
	12	24	<i>Rennes</i>	2,52	4,87	3,377
	13	25	<i>Amiens</i>	2,46	4,36	3,332
	14	26	<i>Toulon</i>	2,14	4,18	3,302
	15	27	<i>Nancy</i>	2,09	4,24	3,301
13		28	Breslau	1,67	3,96	3,285

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
	16	29	Nantes	2,39	4,08	3,278
14		30	Nuremberg	1,77	4,69	3,271
15		31	Leipzig	1,60	4,87	3,248
16		32	Buda-Pesth	2,31	4,89	3,223
	17	33	Perpignan	2,04	5,78	3,212
	18	34	Marseille	2,24	4,19	3,167
	19	35	Levallois-Perret.	1,78	6,13	3,160
17		36	Brünn	2,35	3,45	3,103
18		37	Berlin	2,28	4,68	3,094
	20	38	Cherbourg	1,57	5,95	2,947
19		39	New-York*	1,74	5,55	2,902
	21	40	Boulogne-sur-Mer.	0,83	4,18	2,864
	22	41	Montpellier.	1,90	5,23	2,854
	23	42	Nîmes.	2,27	4,08	2,849
20		43	Hambourg.	1,21	6,40	2,841
21		44	Venise	1,87	3,71	2,808
	24	45	Tourcoing	1,96	4,43	2,703
	25	46	Le Mans.	1,90	3,84	2,614
22		47	Preston	1,66	3,57	2,474
23		48	Chicago.	0,96	4,49	2,438
	26	49	Saint-Quentin	0,26	3,95	2,433
	27	50	Dijon	1,54	2,97	2,393
24		51	Dresde	1,65	3,16	2,326
25		52	Stockholm.	1,49	3,19	2,270
	28	53	Béziers	0,68	4,06	2,255
26		54	Turin.	1,25	3,15	2,253
27		55	Bruxelles	1,83	2,75	2,245
28		56	Anvers	1,96	2,68	2,245
29		57	Stuttgard	1,44	3,17	2,232
30		58	Lisbonne	0,67	3,32	2,219
31		59	Rome.	1,58	2,92	2,193

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
32		60	Vienne	1,81	2,62	2,174
33		61	Liège	1,26	2,84	2,171
	29	62	Besançon	1,08	3,14	2,171
34		63	Gênes	1,08	3,20	2,087
35		64	Milan	1,82	2,48	2,061
	30	65	Catalis	1,37	2,69	2,036
	31	66	Grenoble	1,57	2,53	2,016
36		67	Belfast	1,07	3,63	1,997
	32	68	Tours	1,32	2,94	1,987
	33	69	Bordeaux	1,48	2,93	1,980
	34	70	Versailles	1,18	3,04	1,967
37		71	Christiania	1,14	2,67	1,953
38		72	Hanovre	0,13	2,92	1,942
	35	73	Saint-Étienne	1,41	2,33	1,927
	36	74	Lorient	0,43	5,38	1,886
	37	75	Orléans	1,14	2,34	1,885
39		76	Florence	0,89	3,28	1,861
40		77	Salford	0,99	2,63	1,861
41		78	Boston	1,29	2,30	1,831
	38	79	Toulouse	0,88	3,27	1,824
	39	80	Paris	1,20	2,40	1,792
42		81	Philadelphie	1,11	2,60	1,770
43		82	Berne	1,15	2,01	1,665
44		83	Leeds	1,00	3,12	1,559
45		84	Bolton	0,94	2,11	1,540
46		85	Liverpool	0,84	2,81	1,495
47		86	Genève	1,00	4,15	1,449
48		87	Sheffield	0,84	2,19	1,445
49		88	Dublin	0,81	2,18	1,443
50		89	Francfort	0,47	1,93	1,412
51		90	Manchester	0,89	2,27	1,368

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX			
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)	
	40	91	Angoulême	0,26	4,79	1,359	
	41	92	Limoges	0,69	2,40	1,277	
52		93	Nottingham	0,69	2,04	1,275	
53		94	Brême	0,84	2,75	1,270	
54		95	Bâle	0,21	3,04	1,264	
55		96	Birmingham	0,59	2,20	1,244	
56		97	Dundee	0,88	1,90	1,234	
57		98	Norwich	0,60	1,80	1,229	
	42	99	Lyon	0,92	1,48	1,210	
58		100	Portsmouth	0,59	1,67	1,139	
59		101	Glasgow	0,82	1,59	1,126	
	43	102	Caen	0,52	1,83	1,119	
60		103	Birkenhead	0,59	1,81	1,114	
	44	104	Bourges	0,27	2,23	1,048	
	45	105	Cette	0,24	2,43	1,023	
61		106	Londres	0,61	1,66	1,019	
62		107	Bradfort	0,60	1,79	1,006	
63		108	Newcastle	0,53	1,22	0,899	
64		109	Cardiff	0,48	1,50	0,884	
65		110	Aberdeen	0,42	1,34	0,883	
66		111	Édimbourg	0,44	1,06	0,774	
67		112	Brighton	0,45	1,08	0,741	
	46	113	Clérmont-Ferrand	0,24	1,62	0,693	
68		114	Bristol	0,36	0,95	0,634	
69		115	Croydon	0,25	0,88	0,585	
	47	116	Roanne	} Renseignements incomplets	0,09	1,16	0,471
	48	117	Angers		0,13	0,71	0,285
	49	118	Poitiers	} Renseignements incomplets			
70		119	Amsterdam				
71		120	La Haye				
72		121	Madrid				

TABLEAU III. — Mortalité par fièvre typhoïde et gastro-entérite.
 Période de 1887 à 1896.
 Taux pour 1 000 décès.

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
1		1	Le Caire	219,73	424,39	317,21
2		2	Alexandrie	154,99	320,33	245,36
3		3	Gand	130,47	260,35	206,86
4		4	Moscou	122,59	272,45	205,31
	1	5	Troyes	144,01	290,24	199,49
	2	6	Rouen	119,29	261,18	184,22
	3	7	Dunkerque	145,88	206,91	181,91
	4	8	Roubaix	141,86	224,30	175,99
	5	9	Reims	142,94	221,31	173,52
5		10	Kœnisberg	142,65	224,09	172,64
	6	11	Le Havre	65,50	293,08	170,32
6		12	Munich	138,51	212,03	167,29
7		13	Magdebourg	109,04	203,43	162,45
8		14	Dantzig	131,98	192,99	161,21
9		15	Leipzig	84,49	219,42	156,45
10		16	Strasbourg	119,23	189,74	152,84
	7	17	Lille	118,54	195,65	152,52
11		18	Berlin	98,71	197,79	150,90
	8	19	Amiens	121,25	188,41	146,86
	9	20	Boulogne-sur-Seine	111,37	195,01	143,41
12		21	Saint-Petersbourg	53,49	292,68	143,13
	10	22	Nancy	98,15	185,23	141,42
	11	23	Saint-Denis	115,13	170,92	138,80
13		24	Chicago	46,63	210,64	137,63
14		25	Nuremberg	80,97	177,50	134,58
	12	26	Nantes	95,18	166,53	132,61
	13	27	Avignon	93,81	169,55	131,80
	14	28	Toulon	86,01	162,13	130,39

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
15		29	Bâle	93,17	164,74	129,96
16		30	Breslau	76,17	156,44	126,10
17		31	Liège	92,74	151,23	121,47
	15	32	Rennes	94,71	157,08	120,95
	16	33	Boulogne-sur-Mer . . .	37,75	162,10	120,84
	17	34	Saint-Quentin	84,66	173,83	119,92
	18	35	Perpignan	65,25	177,00	119,80
18		36	Bucarest.	76,87	155,03	118,28
19		37	Stuttgard	78,71	154,53	116,43
20		38	Buda-Pesth	94,60	157,55	115,50
21		39	Hambourg.	60,12	169,65	115,23
	19	40	Cherbourg	56,93	202,68	114,64
22		41	Stockholm.	84,14	155,45	114,34
	20	42	Nîmes.	93,94	147,77	113,78
	21	43	Marseille.	90,06	145,26	113,17
23		44	Anvers	80,46	145,60	112,05
	22	45	Tourcoing	80,79	214,68	110,49
	23	46	Levallois-Perret. . . .	84,88	138,41	110,49
24		47	Venise	78,92	121,83	110,40
25		48	Bruxelles	96,52	132,41	110,15
	24	49	Brest	61,74	171,42	109,55
	25	50	Dijon	75,84	182,48	109,46
26		51	Brünn	80,48	144,11	108,91
27		52	Christiania	78,43	145,93	108,79
28		53	Dresde	78,99	150,35	107,92
29		54	Turin.	72,60	137,46	102,35
	26	55	Montpellier	67,17	158,70	100,80
30		56	New-York.	71,52	130,63	100,71
	27	57	Le Mans.	70,61	136,44	100,31
31		58	Hanovre.	71,57	138,98	96,93
32		59	Preston	64,31	135,90	96,18

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
	28	60	Besançon	52,15	137,51	93,75
33		61	Rome	77,02	108,01	93,75
	29	62	Calais	63,14	117,91	93,30
	30	63	Grenoble	68,37	111,75	91,58
34		64	Vienne	71,63	110,90	90,48
	31	65	Saint-Étienne	58,85	129,81	88,08
35		66	Gênes	46,86	120,42	87,14
	32	67	Bordeaux	62,61	120,82	87,06
36		68	Philadelphie	57,72	120,91	86,45
	33	69	Béziers	27,32	160,64	84,71
	34	70	Versailles	46,35	131,85	84,50
	35	71	Tours	57,05	124,05	84,40
37		72	Lemberg	37,24	116,13	84,15
	36	73	Paris	63,06	105,45	83,13
	37	74	Orléans	54,72	100,95	81,87
38		75	Milan	60,83	101,46	81,62
39		76	Boston	66,41	91,21	78,33
40		77	Berne	50,21	94,98	77,12
41		78	Salford	45,69	107,90	76,70
42		79	Belfast	43,44	139,25	76,67
43		80	Francfort	33,43	103,50	76,11
44		81	Genève	59,69	108,50	74,29
45		82	Florence	36,60	121,95	74,69
	38	83	Toulouse	35,70	121,64	73,26
	39	84	Lorient	17,68	186,65	70,66
46		85	Nottingham	30,49	111,12	69,96
47		86	Bolton	48,92	88,09	69,75
48		87	Lisbonne	20,50	112,88	69,04
49		88	Sheffield	36,14	106,98	67,84
50		89	Norwich	31,53	93,97	64,30
51		90	Brême	42,88	103,94	63,59

NUMÉRO D'ORDRE VILLES ÉTRANGÈRES	NUMÉRO D'ORDRE VILLES FRANÇAISES	NUMÉRO D'ORDRE CLASSEMENT GÉNÉRAL	NOM DES VILLES	TAUX		
				MINIMUM	MAXIMUM	MOYEN (calculé sur dix ans)
52		91	Portsmouth	38,19	115,35	63,04
53		92	Leeds	32,16	73,39	61,65
54		93	Birmingham	31,52	104,09	61,28
55		94	Dundee	39,91	88,19	60,69
56		95	Liverpool	32,53	104,01	59,40
	40	96	Bourges	27,42	111,73	58,41
57		97	Birkenhead	33,64	88,82	57,94
	41	98	Lyon	47,96	66,85	57,41
58		99	Bradfort	21,77	93,83	55,62
59		100	Manchester	36,79	86,83	55,36
60		101	Londres	32,33	92,04	53,66
	42	102	Angoulême	13,65	207,91	53,05
	43	103	Limoges	25,44	84,35	51,80
61		104	Cardiff	23,17	76,17	51,33
62		105	Glasgow	32,11	66,87	48,38
63		106	Aberdeen	21,46	69,42	47,42
64		107	Brighton	21,40	60,33	45,43
65		108	Newcastle	23,03	52,40	45,34
66		109	Dublin	32,03	93,04	43,65
	44	110	Caen	20,98	68,01	41,25
67		111	Croydon	18,61	67,56	40,80
	45	112	Cette	14,20	84,20	39,66
68		113	Édimbourg	20,78	54,54	38,96
69		114	Bristol	18,15	53,41	33,55
	46	115	Clermont	11,28	74,75	30,92
	47	116	Angers	} Renseignements incomplets		
	48	117	Roanne			
70		118	Amsterdam	} Renseignements incomplets		
71		119	Madrid			
	49	120	Poitiers			
		121	La Haye			

I. — LES ANCIENNES MÉTHODES D'ÉPURATION.

On a proposé de nombreuses méthodes pour assurer l'innocuité des eaux d'alimentation; les deux principales sont basées :

1° Sur l'emploi de filtres;

2° Sur l'utilisation combinée d'appareils traitant l'eau au fer, tel que l'appareil Anderson, et de filtres à sable.

Emploi des filtres. — Les filtres ne sauraient évidemment retenir que les matières offrant des dimensions plus grandes que les interstices de leurs cellules constituantes; mais, lors même qu'ils sont soigneusement établis, ils s'encrassent rapidement, deviennent de véritables nids à microbes et offrent des dangers très graves si l'on n'a le soin de les nettoyer souvent.

Quand il s'agit de filtres à sable, l'inconvénient est plus considérable encore. Dans ces derniers, la véritable couche filtrante est en effet le limon déposé à la surface, où pullulent les colonies microbiennes.

Ainsi que le fait observer M. Delhotel dans son excellent traité de l'épuration des eaux, l'eau donnée par ces filtres n'arrive véritablement à la limpidité que lorsqu'elle est dans des conditions déplorables au point de vue hygiénique.

Cette opinion est corroborée par celles de Carl Frankel et Pieffe: « Les filtres à sable, disent ces savants, ne sont pas des appareils impénétrables aux germes; ils ne retiennent sûrement ni les bactéries banales, ni celles de la fièvre typhoïde ou du choléra. Le commencement et la fin de chaque période d'un filtre sont des moments particulièrement dangereux, parce que dans le premier cas, le filtre n'a pas encore acquis toute son efficacité, et que, dans le second, la pression exercée à la surface et la végétation des bactéries, favorisent le cheminement de haut en bas des micro-organismes à travers les couches filtrantes. »

Traitement par le fer. — Frappés de ces inconvénients graves, divers auteurs ont cherché à compléter l'action des filtres à sable par celle d'appareils où l'eau est épurée par l'agitation avec des rognures de fer.

C'est ainsi que MM. Anderson et Ogston ont construit leurs appareils dits *revolvers*.

D'après M. Anderson, les résultats obtenus seraient les suivants : la matière organique est altérée dans sa nature chimique, et

l'oxyde de fer précipite une partie des carbonates terreux; de plus, la vitalité des infusoires est arrêtée en grande partie.

Cependant le docteur Percy-Franckland a fait observer, en se basant sur de nombreuses expériences faites sur des eaux battues avec des substances solides finement divisées, y compris celle nommée fer spongieux, « que le simple procédé d'agitation peut accomplir une purification très remarquable, mais qu'on ne peut compter pour le moment sur son efficacité absolue, à cause de l'incertitude de son succès ».

Le docteur Pouchet est arrivé à des conclusions presque identiques, et a trouvé que si le procédé d'épuration au fer diminue assez notablement la proportion des matières organiques dissoutes et prive l'eau d'une grande quantité de germes, il ne donne pas une eau absolument débarrassée de micro-organismes.

L'eau traitée par le fer est, en outre, privée d'une grande partie de son oxygène et devient, par cela même, très indigeste.

Quoi qu'il en soit, c'est au filtre à sable, seul ou combiné avec le traitement au fer, que l'on a eu recours toutes les fois que l'on a voulu faire subir un commencement d'épuration à de grandes masses d'eau. Il est absolument évident que l'une et l'autre de ces méthodes ne constituent qu'un pis-aller.

Que dans les mailles des filets tendus aux microbes se glissent quelques germes infectieux, et c'en est fait de tout le travail d'épuration si péniblement réalisé.

Les appareils Anderson et les filtres à sable ne sauraient donc être acceptés qu'à titre d'épurateurs préalables, de dégrossisseurs.

Leur action doit être complétée. Il faut qu'elle le soit, non par un produit chimique qui altérerait les qualités de l'eau et la rendrait imbuvable, mais par un agent physique en quelque sorte, qui agira sans laisser de trace et conservera à l'eau toutes ses qualités organoleptiques et digestives.

Cet agent, c'est l'ozone.

II. — **Épuration et stérilisation des eaux potables par l'ozone.**

A l'origine même de sa découverte, Schönbein signala les propriétés désinfectantes de l'ozone, et proposa de l'employer pour l'assainissement des hôpitaux.

Plus tard, Berigny, Salleron, Henri Day, Bineau, Ireland, Sainte-Claire Deville et plus récemment Henri de Parville, Labbé et

Oudin, Van Ermengen, Ohlmulher, Roux, étudièrent son action physiologique et préconisèrent son emploi comme bactéricide.

J'ai moi-même indiqué dans une note parue dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, il y a trois ans (t. 123, page 4005), et présentée par mon illustre et regretté maître le professeur Friedel, les curieux phénomènes de phosphorescence qui accompagnent la destruction des microbes et des matières organiques contenus dans l'eau.

Lorsque l'eau et l'ozone entrent en contact, dans certaines conditions, une vive luminosité se produit en effet; cette luminosité est l'indice certain, ainsi que le démontre du reste l'analyse, de la destruction des germes contenus dans l'eau. Elle ne se produit pas si l'eau est rigoureusement pure.

J'ai étudié divers appareils pour épurer industriellement les eaux : les premiers, construits en fonte émaillée ou en grès, permettent de traiter des quantités pouvant atteindre jusqu'à 4 000 m³ par jour. Les seconds, construits entièrement en maçonnerie, sont établis pour l'ozonisation de quantités beaucoup plus considérables. De vrais torrents peuvent s'y déverser.

Émulseur. — Les deux séries d'appareils sont caractérisées par l'emploi d'émulseurs.

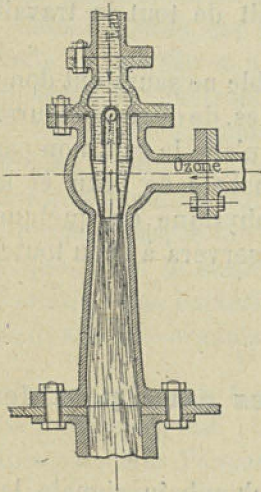


FIG. 16. — Emulseur.

Je désigne sous ce nom un système composé de deux cônes concentriques (fig. 16); par le cône intérieur, qui peut être évidé ainsi que celui qui figure sur le dessin ci-contre, arrive le courant d'eau qu'on veut traiter. Par un ajustage disposé latéralement sur le cône extérieur arrive l'air ozoné.

La lame liquide, très mince, qui jaillit dans l'appareil, forme immédiatement avec l'air ozoné qu'elle rencontre une émulsion très parfaite. L'eau et l'ozone entrent en contact *molécule à molécule*.

Ce point est extrêmement important, car l'ozone étant très peu soluble dans l'eau, si l'on se contentait, pour purifier cette dernière, de faire barboter dans une masse déterminée un courant d'air ozoné, l'action serait beaucoup plus lente et risquerait d'être incomplète.

L'expérience, du reste, le prouve surabondamment.

Si nous nous plaçons dans l'obscurité et si nous envoyons de l'air ozoné et de l'eau dans un émulseur, nous voyons cette eau répandre en sortant de l'appareil une phosphorescence très nettement accentuée.

Si, au contraire, nous nous contentons de faire barboter de l'air ozoné dans un flacon contenant de l'eau, même très impure, nous ne constatons aucun phénomène de phosphorescence.

Avec les émulseurs, l'ozone à doses presque infinitésimales produit la luminosité, c'est-à-dire la destruction des microbes et des matières organiques. Cette luminosité est naturellement beaucoup plus vive avec de l'ozone à la dose de 5 ou 6 mg par litre d'air et la destruction des germes est plus complète.

Stérilisateur à plateaux. — L'action des émulseurs est complétée dans cet appareil par une série de plateaux à grande surface sur lesquels l'eau déjà ozonée s'étend en lames minces et où la stérilisation se termine.

L'eau et l'ozone sont amenés à la partie supérieure de l'appareil (*fig. 17*), par deux conduits 1 et 2, communiquant avec les émulseurs 3. Des tuyaux *a* amènent l'émulsion intime d'eau et d'ozone dans le cylindre *b*. Par l'emploi de ce dispositif, ainsi que je l'ai dit plus haut, aucune molécule d'eau, quelque grande que soit la masse traitée, ne peut échapper à l'action de l'ozone.

L'eau et l'ozone se séparent. L'ozone s'échappe par l'orifice *c* et suit le chemin indiqué par les flèches *d*. L'eau s'écoule par le trop-plein *e* et suit le chemin indiqué par les flèches *f*. Elle arrive dans le récipient *g*; la canalisation *h* l'amène dans la colonne *k*.

Cette dernière est formée par la réunion d'un certain nombre de plateaux, qui sont disposés de façon qu'une mince couche d'eau séjourne constamment dans le fond de chacun d'eux. Chaque plateau est muni d'un tube de trop-plein *l* pour l'écoulement des eaux, et d'un orifice *m* recouvert d'un capuchon *n*.

Par ces derniers orifices arrive l'ozone sorti des émulseurs qu'un tuyau *p* amène à la partie inférieure de la colonne.

Quand le stérilisateur est en marche, la masse liquide circule en zigzag, de haut en bas, d'un plateau à l'autre, tandis que l'eau suit, en sens contraire, une marche verticale pour s'échapper finalement par l'orifice *a* qui communique avec un tube de dégagement.

Arrivée dans le réservoir *r*, l'eau épurée s'échappe finalement

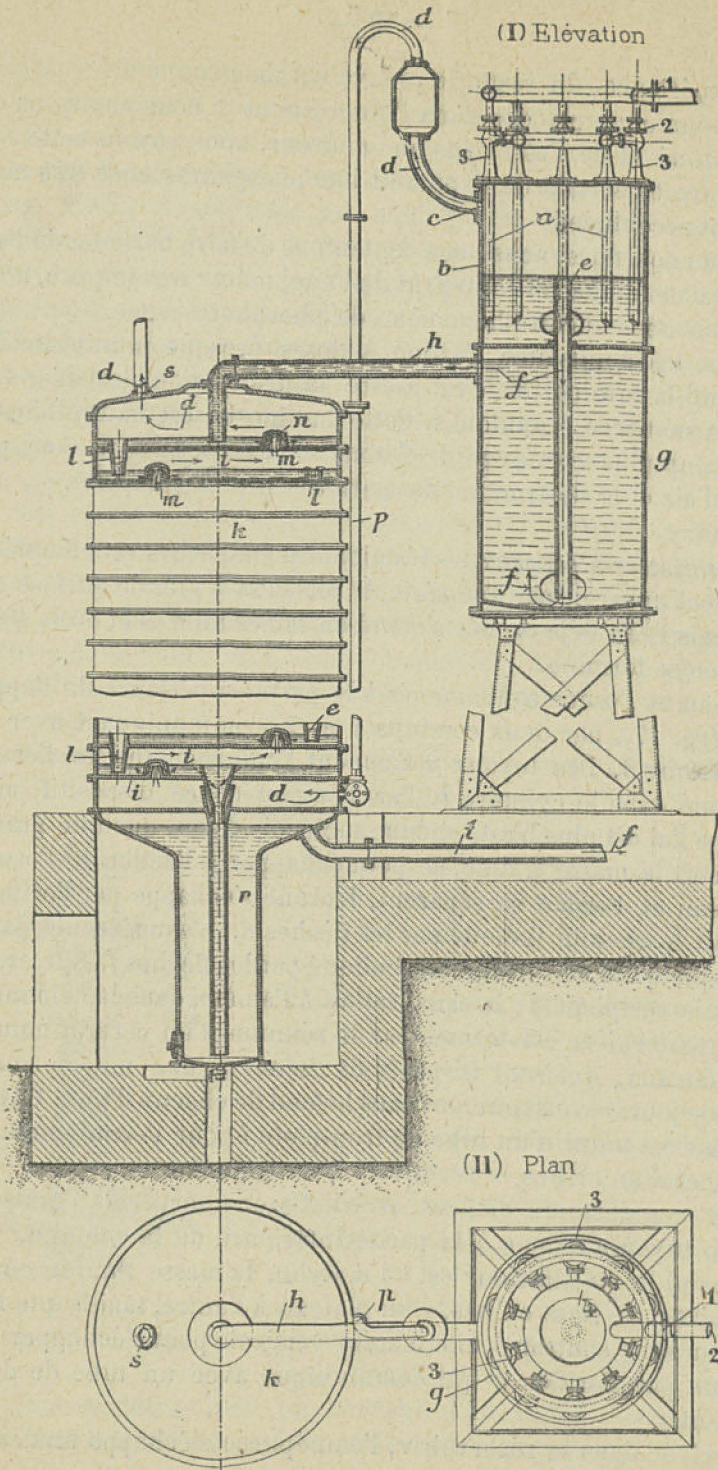


FIG. 17. — Stérilisateur à plateaux.

par la canalisation *t*. La hauteur des récipients *g* et *r* est calculée de telle sorte que l'ozone ne puisse suivre une autre marche que celle que je viens d'indiquer.

Le nombre des plateaux de la colonne peut évidemment varier, mais il est généralement compris entre 20 et 50.

Lorsqu'on a affaire à des eaux extrêmement impures, on groupe en tension plusieurs stérilisateurs.

Galerie d'Ozonisation. — Le nombre des stérilisateurs que l'on peut utiliser, dans une installation industrielle, pour l'épuration des eaux par l'ozone ne saurait évidemment se multiplier à l'infini, lorsqu'on a d'énormes quantités d'eau à traiter ; aussi ai-je

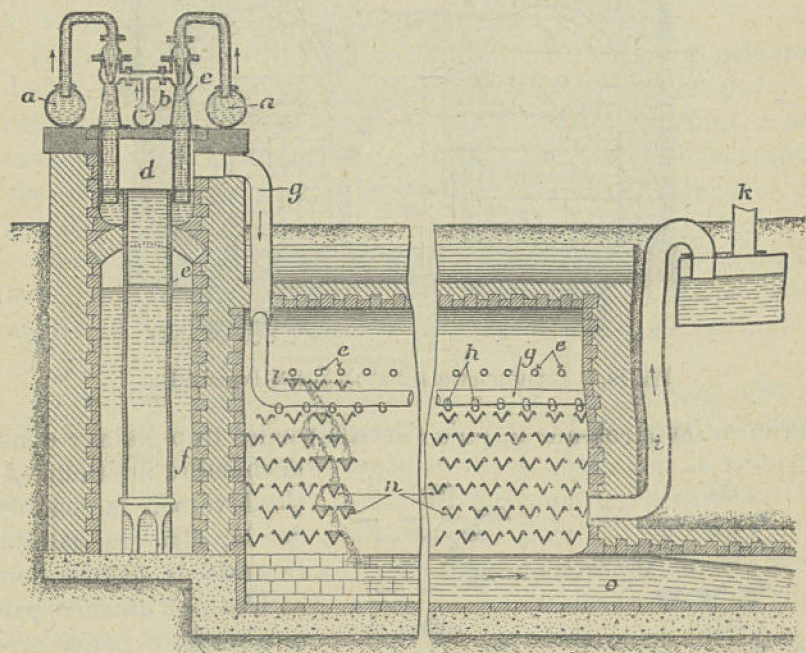


FIG. 18. — Coupe longitudinale d'une galerie d'ozonisation.

imaginé, pour ce cas particulier, des galeries d'ozonisation (fig. 18 et 19).

J'utilise toujours des batteries d'émulseurs placées en tête de la galerie, pour effectuer le mélange intime de l'eau et de l'ozone ; mais la colonne où se poursuit la purification est remplacée par des organes tout différents.

L'eau est amenée à l'aide de deux grosses canalisations *a* dans

des émulseurs *c*, semblables à ceux que je viens de décrire. L'ozone est amené par une canalisation *b*, placée entre les deux conduites d'eau.

Les émulseurs sont montés en nombre suffisant sur des plaques en fonte.

L'émulsion d'eau et d'ozone arrive d'abord dans la partie su-

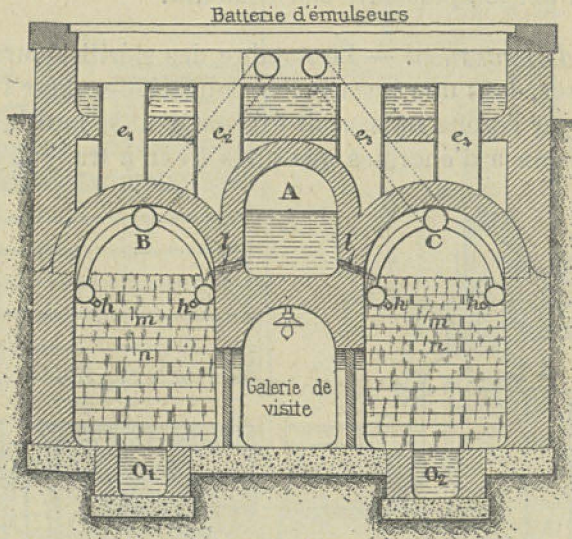


FIG. 19. — Coupe transversale d'une galerie d'ozonisation.

périeure de la colonne *d*, puis s'écoule par les trop-pleins *e* dans la chambre inférieure *f*.

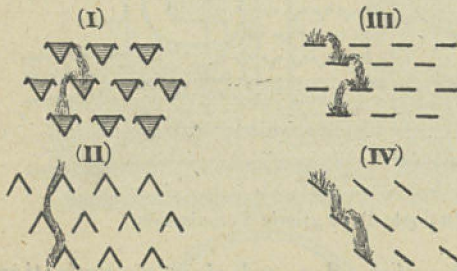


FIG. 20. — Différents modes d'arrangement des chicanes.

Un déversoir la conduit de là, dans la galerie centrale de distribution A. L'eau est amenée, par une série de petits orifices *l*, dans les galeries B et C où se termine l'ozonisation.

Ces galeries sont garnies intérieurement d'une série de barres

horizontales *m, n* disposées en chicanes. Ces barres peuvent avoir une forme quelconque, j'emploie de préférence un des modes d'arrangement représentés figure 20 :

(I) Barres en forme de gouttières ; ce sont celles qui sont représentées sur la coupe longitudinale (*fig. 18*) ;

(II) Lames en forme de V renversé ;

(III et IV) Lames planes disposées horizontalement ou légèrement inclinées.

Il est évident que l'on peut modifier de nombreuses façons l'arrangement de ces éléments.

Quoi qu'il en soit, l'eau amenée par les conduites *l* arrive à la partie supérieure des chicanes et tombe par cascades successives dans le collecteur *O*. Pendant ce temps l'ozone, qui n'a pas suivi le même chemin à cause de la trop grande pression qu'il aurait eu à supporter, s'échappe dans la chambre *d*, puis est distribué par une canalisation en grès *g*, munie d'un très grand nombre de tubulures latérales *h* dans les galeries B et C.

Il circule à travers les chicanes et les nappes d'eau ruisselantes dont il termine l'épuration. Son action finie, il se rend par une canalisation *i* (*fig. 18*) dans une cheminée d'échappement *k*. L'arrangement des conduites de sortie des gaz a pour but d'empêcher les poussières ou les corps étrangers de tomber dans la galerie.

La marche de l'appareil est réglée de telle sorte que l'on perde le moins d'ozone possible. L'utilisation de l'ozone serait évidemment complète si l'air qui s'échappe de la cheminée ne contenait plus de traces de ce dernier.

La galerie d'ozonisation représentée par nos gravures a 20 m de longueur et peut permettre de traiter jusqu'à 100 000 m³ d'eau par jour ; il est évident qu'on peut, en se basant sur le principe que je viens d'indiquer, construire des galeries permettant de traiter des masses encore plus considérables.

Au lieu de disposer les maçonneries horizontalement, il est possible, si le terrain s'y prête, de les établir suivant un plan fortement incliné.

La longueur de la galerie n'a évidemment rien d'absolu. Dans certains cas particuliers on peut regagner en hauteur ce que l'on perd en longueur. On fait alors arriver l'ozone qui a déjà passé par les émulseurs, à la partie inférieure de la galerie ; il suit une marche ascendante et s'échappe par un orifice ménagé à la partie supérieure.

Le fonctionnement de la galerie est comparable dans ce cas à celui d'un stérilisateur de très grandes dimensions.

Pour des eaux très impures on peut avoir recours à l'action

combinée d'une série d'émulseurs montés en tension et placés à la tête amont de la galerie.

Si l'on ne dispose que de terrains réduits, l'usine électrique de production d'ozone peut être installée au-dessus même des galeries dans lesquels l'eau circule.

III. — USINE DE LA COMPAGNIE DE L'OZONE A PARIS.

Lorsqu'on dispose de courants électriques, soit continus, soit alternatifs, ce qui est le cas dans la plupart des grandes villes, l'installation d'une usine pour la stérilisation des eaux comprend seulement deux groupes d'appareils :

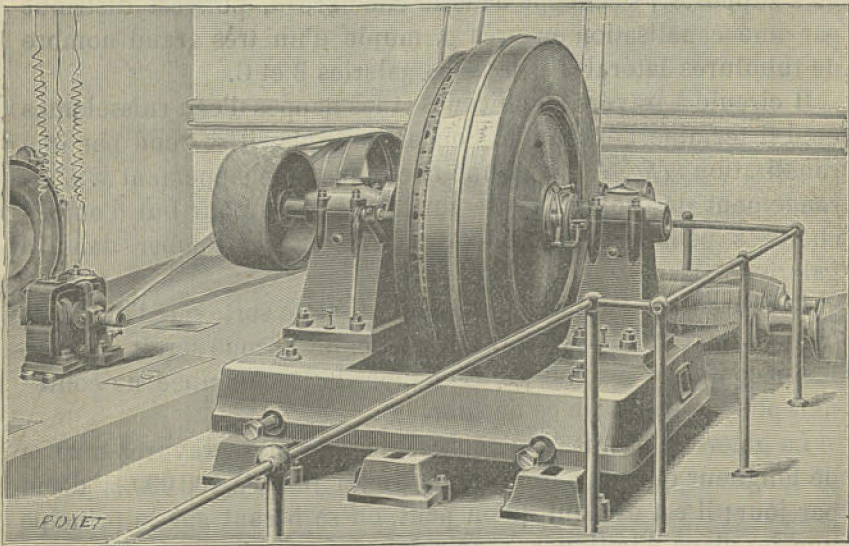


FIG. 21. — Alternateur à grande fréquence de la *Compagnie de l'Ozone*.

- 1° Les générateurs d'ozone ;
- 2° Les stérilisateurs.

Si l'on n'a pas de courants à sa disposition, l'installation doit être forcément complétée par celles de générateurs électriques.

Nous décrirons comme installation type, celle qui a été réalisée par la *Compagnie de l'Ozone* à Paris ; cette Société produit elle-même le courant qui lui est nécessaire.

Générateurs électriques. — La première partie de l'installation comprend une dynamo à courant alternatif, à induit sans fer (*fig. 21*). A la vitesse de 600 tours, cette machine fournit du courant à 500 périodes par seconde.

Le courant produit par cet alternateur qu'excite une machine spéciale, est envoyé dans un tableau de distribution.

Du tableau, le courant arrive aux transformateurs. Ces derniers, isolés avec le plus grand soin, sont essayés à 100 000 volts, et fournissent en marche normale 25 000 volts.

Ozoneurs et instruments de contrôle. — Nous ne reviendrons pas sur ces générateurs qui se trouvent décrits tout au long dans le premier chapitre.

Nous signalerons seulement un appareil que nous avons spécialement étudié pour contrôler leur marche, mesurer et enre-

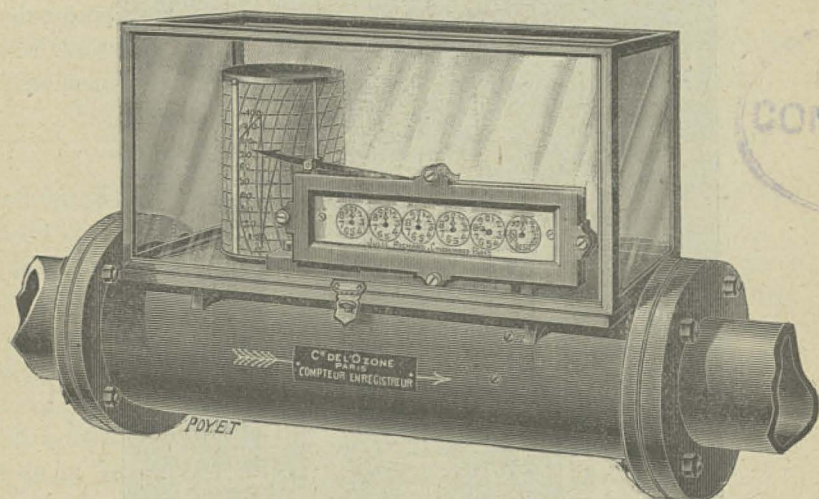


FIG. 22. — Compteur enregistreur pour grands débits.

gistrer les volumes des masses énormes de gaz ozoné qui les traversent; nous voulons parler du compteur enregistreur.

Cet appareil extrêmement simple (*fig. 22*) se place directement sur la canalisation amenant l'air aux ozoneurs. Les débits se lisent sur une série de cadrans devant lesquels se meuvent des aiguilles indicatrices.

L'enregistrement se fait à l'aide d'un style, sur une feuille quadrillée portant une graduation spéciale et fixée sur un cylindre qu'entraîne un mouvement d'horlogerie. Cette feuille est divisée horizontalement en vingt-quatre parties correspondant aux heures de la journée et verticalement de 0 à 100. Cette dernière division correspond aux débits gazeux exprimés en mètres cubes. Le style partant de 0 fait une ascension complète pour 100 m³,

puis retombe automatiquement pour recommencer une nouvelle ascension.

- Quand le compteur s'arrête, ce qui correspond à une période de non-fonctionnement des ozoneurs, cela se voit nettement sur la courbe qui devient alors parallèle à l'horizontale.

A l'aide du compteur enregistreur, on peut donc suivre, minute

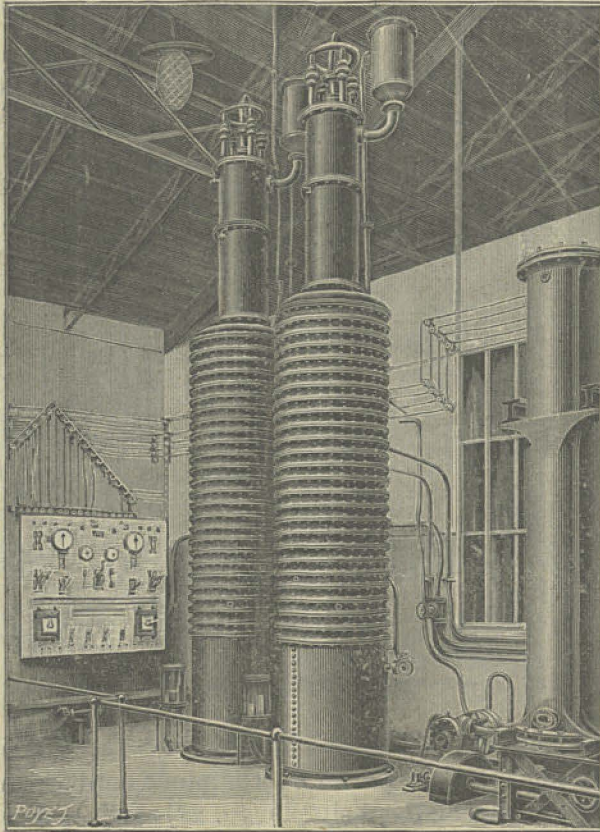


FIG. 23. — Stérilisateurs de la *Compagnie de l'Ozone*, à Paris.

par minute, la marche d'une batterie d'ozoneurs et contrôler le débit des appareils.

Au sortir des générateurs, l'ozone va dans les stérilisateurs. Si l'on tient à le débarrasser au préalable, d'une manière absolue, de toute trace de produits nitrés, on le lave dans une solution légèrement alcaline ou on le fait passer dans une colonne en grès, de faible hauteur, remplie de pierre ponce, sur laquelle coule un mince filet d'eau de chaux.

Stérilisateurs. — Le mélange intime, molécule à molécule, de l'ozone produit et de l'eau à épurer s'effectue dans deux grandes colonnes à stériliser (*fig. 23*).

Ces colonnes sont établies d'une manière presque identique à celles que nous avons déjà décrites : l'eau et l'ozone sont amenés dans les émulseurs que l'on distingue nettement à la partie supérieure. Après une première réaction, l'eau et l'ozone se séparent ; l'eau tombe de plateaux en plateaux jusqu'à la partie inférieure des stérilisateurs, tandis que le courant d'ozone chemine en sens inverse, terminant méthodiquement l'épuration. A la sortie des appareils, l'eau peut être livrée directement à la consommation.

On voit par ce qui précède combien est simple l'installation d'une usine pour le traitement des eaux potables par l'ozone.

IV. — RÉSULTATS.

Il est absolument démontré que l'eau peut être stérilisée d'une façon complète et absolue à l'aide de l'ozone.

Des diverses expériences auxquelles nous nous sommes livré nous avons conclu que, pour arriver à ce résultat, il faut, d'une part, employer de l'ozone assez concentré, d'autre part, prolonger pendant un certain temps la durée de contact du liquide et du gaz.

Nos essais ont porté, en particulier, sur les eaux de la Seine et de la Vanne.

Action microbicide. — Je résume dans le tableau qui suit les résultats observés pendant les différentes phases de l'ozonisation.

Eau de la Vanne.

NON OZONÉE	OZONÉE PREMIÈRE PHASE	OZONÉE DEUXIÈME PHASE
<i>B. Fluorescens liquefaciens.</i> <i>B. Coli communis.</i> <i>B. Subtilis.</i> <i>M. Ferridosus.</i> <i>M. Aquatilis.</i> <i>M. Candicans.</i> Levure rose. <i>Penicilium glaucum.</i> <i>Aspergillus niger.</i>	<i>B. Subtilis.</i> <i>M. Aquatilis.</i> Levure rose. (<i>Plus de microbes pathogènes.</i>)	O.

Eau de Seine.

NON OZONÉE	OZONÉE PREMIÈRE PHASE	OZONÉE DEUXIÈME PHASE
<i>B. Fluorescens liquefaciens.</i> <i>B. Coli communis.</i> <i>B. Termo.</i> <i>B. Proteus vulgaris.</i> <i>M. Prodigiosus.</i> <i>B. Subtilis.</i> <i>M. Aquatilis.</i> <i>M. Luteus.</i> <i>M. Aurantiacus.</i> <i>Penicilium glaucum.</i> <i>Aspergillus niger.</i>	<i>B. Subtilis.</i> <i>M. Luteus.</i> <i>Penicilium glaucum.</i> <i>(Plus de microbes pathogènes.)</i>	<p>O.</p>

Les espèces dont les noms figurent dans ces tableaux sont celles que j'ai pu nettement isoler et caractériser. Le processus de la réaction est extrêmement intéressant à suivre.

Il démontre, en effet, que sans arriver à la stérilisation absolue, on peut obtenir, à l'aide de l'ozone, des eaux d'une innocuité incontestable.

En effet, les espèces dangereuses, qui sont indiquées en italique dans les premières colonnes, sont celles qui succombent les premières et qu'on ne peut revivifier dans les bouillons de culture.

Le *B. Fluorescens* est particulièrement dangereux. Il se développe dans le commencement de la putréfaction avant le *Proteus vulgaris*.

Ce dernier, qui est le principal microbe de la putréfaction, produit des ptomaïnes.

Le *B. Coli communis* provient des matières fécales. Il peut entrer en association avec le *B. typhique* dont il n'est, d'après certains bactériologistes, qu'une forme spéciale.

Le *B. Termo*, qui existe dans la salive, accompagne le *B. Fluorescens*.

Le *M. Prodigiosus* est surtout dangereux par ses associations avec le *B. Coli*, le *Spectrococcus pyogenes aureus*, etc.

Par cette nomenclature on voit combien est grand le danger que l'on court en buvant des eaux souillées de germes aussi dangereux, et l'on comprend le rôle important que joue l'ozone en nous en débarrassant.

Actions secondaires. — Les matières organiques sont en partie brûlées, ce qui rend les eaux beaucoup moins altérables.

Les matières minérales ne sont pas attaquées et les proportions des autres éléments restent invariables.

Qualités de l'eau ozonée. — L'examen approfondi que nous avons fait nous a démontré que l'eau ozonée ne contient plus de trace d'ozone, qu'elle n'a aucune odeur particulière, aucune propriété nuisible et que ses qualités organoleptiques ne sont en aucune façon altérées. Cela se conçoit aisément, étant donnée la très grande instabilité de l'ozone.

Au moment où ce gaz se trouve en contact avec les bactéries contenues dans l'eau, il se transforme immédiatement en oxygène naissant. Il perd, par cela même, son odeur particulière, caractéristique d'un groupement moléculaire qui cesse d'exister.

La démonstration de ce phénomène est, du reste, facile à faire ; il suffit de prendre de l'eau fraîchement ozonée, et de la traiter par le réactif iodo-amidonné, qui permet de déceler des quantités infinitésimales d'ozone ; si l'eau contenait une trace d'ozone, elle donnerait avec ce réactif une coloration bleue intense. Or, il n'en est rien. L'eau traitée, mélangée avec le réactif iodo-amidonné, ne se colore en aucune façon : elle ne contient donc plus d'ozone.

CONCLUSIONS. — *On peut donc dire que les eaux soumises à l'ozonisation perdent toutes leurs propriétés nocives, et conservent, au contraire, toutes leurs propriétés bienfaisantes. Leur goût est inaltéré, les microbes dangereux qu'elles contiennent sont détruits, leurs qualités minérales et digestives sont conservées.*

Ces conclusions sont corroborées nettement du reste par les résultats obtenus par le docteur Van Ermengen et publiés dans les *Annales de l'Institut Pasteur* (1).

Il en résulte :

1° Que l'ozonisation des eaux de rivière souillées par d'abondantes matières organiques d'origine végétale, et colorées par des matières humiques, donne des résultats extrêmement satisfaisants, au point de vue de l'amélioration de leurs caractères physiques ;

2° Qu'une eau souillée par des infiltrations de fosses d'aisance,

(1) Tome IX, page 701.

par des produits de putréfaction, etc., peut être rendue inoffensive par une ozonisation convenable.

Dans les *Annales de l'Institut Pasteur* (1), sous les signatures du savant docteur Roux, membre de l'Institut, du docteur Calmette et d'autres savants, nous trouvons de nouvelles constatations qui viennent confirmer celles-ci :

1° Tous les microbes pathogènes ou saprophytes, que l'on rencontre dans les eaux sont parfaitement détruits par l'ozone;

2° L'ozonisation n'apporte dans celles-ci aucun élément étranger préjudiciable à la santé des personnes appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de la non-augmentation de la teneur en nitrates et de la diminution considérable de la teneur en matières organiques, les eaux soumises au traitement par l'ozone sont moins sujettes aux pollutions ultérieures et sont, par suite, beaucoup moins altérables;

3° Enfin, l'ozone n'étant autre chose qu'un état moléculaire particulier de l'oxygène, l'emploi de ce corps présente l'avantage d'aérer énergiquement l'eau, de la rendre plus saine et plus agréable pour la consommation, sans lui enlever aucun de ses éléments minéraux utiles.

Plus récemment encore, des essais faits en Allemagne, pour l'ozonisation des eaux de la Sprée, à Martinikenfeld (Berlin), ont donné des résultats également convaincants.

L'excellence de la méthode ne fait donc plus de doute pour personne.

Son application sera facile quand on aura des eaux limpides. Avec des eaux contenant en suspension des débris végétaux, des matières terreuses, des résidus d'usines, etc., il faudra évidemment opérer un dégrossissement préalable.

Le filtre à sable est tout indiqué à cet effet.

Pour pouvoir distribuer partout des eaux abondantes et saines, les hygiénistes de l'avenir auront donc à opter entre ces deux formules :

- 1° Ozonisation directe;
- 2° Filtration et ozonisation.

(1) Tome 13, page 356.

CHAPITRE IV

Les applications de l'ozone.

« Le jour où l'ozone pourra être produit industriellement, écrivait il y a quelques années l'illustre physicien Bunsen, des centaines d'applications nouvelles ne tarderont pas à surgir. »

On peut dire que la prédiction de ce savant a déjà subi un commencement de réalisation.

Il nous serait impossible de décrire ici les industries si diverses dans lesquelles l'ozone a déjà fait ses preuves, — comme celle des parfums, où il a produit sur le marché de la vanille une vraie révolution — ou dans lesquelles il pourra être efficacement employé, comme celles du blanchiment, de la teinture, la fabrication des huiles et des vernis, des linoléums, des dégras, etc. Nous nous bornerons à indiquer ses modes d'emploi les plus généraux et à examiner ensuite quelques-unes des applications les plus récentes.

I. — TRAITEMENT PAR L'OZONE DES CORPS SOLIDES, TISSUS, ETC.

Lorsqu'on veut soumettre à l'action de l'ozone un corps solide quelconque, tissu, plume d'autruche, ivoire, farine, amidon, etc., il suffit de plonger ce corps dans une atmosphère ozonée. Les solutions que l'on peut apporter au problème sont multiples et varient, naturellement, avec les besoins et les circonstances.

Pour le blanchiment des tissus, ces derniers sont posés sur des rouleaux qui peuvent les entraîner par leur mouvement de rotation; il en est de même pour le développement par oxydation directe, sur fibre, des matières colorantes.

Nous rappellerons que MM. Siemens et Halske, de Berlin, affirment qu'avec 40 g d'ozone on peut blanchir 50 kg de toile de lin; l'effet, au bout de douze heures, est le même que celui produit par une exposition de trois jours au soleil.

Le blanchiment et la teinture en couleur ou en noir seront certainement, dans un avenir très rapproché, deux des plus importantes applications industrielles de l'ozone. La forme gazeuse sous laquelle se présente cet oxydant en rend l'emploi extrêmement facile.

On peut l'utiliser encore pour l'assainissement des objets con-

taminés : matelas, vêtements, etc. Pour le faire pénétrer dans les parties les plus reculées des objets à désinfecter, le mieux est de placer ceux-ci dans une étuve de forme appropriée et d'y faire le vide avant d'y envoyer l'ozone.

II. — TRAITEMENT DES LIQUIDES.

Dans le cas le plus simple, on se contentera d'amener l'ozone sous une certaine pression dans les flacons ou récipients contenant les produits à traiter et de provoquer un barbotage énergique. C'est ainsi que l'on procède à l'usine de la *Société des Parfums du Littoral*, à Fréjus, pour le vieillissement et l'amélioration des essences.

Dans cette même usine on emploie, depuis plusieurs années, pour le traitement des alcools, un dispositif un peu différent.

L'alcool tombe à l'intérieur d'une grande colonne verticale remplie de fragments de charbon de bois; un courant d'air ozoné, soigneusement débarrassé de toutes traces de produits nitreux, arrive par la partie inférieure de la colonne et suit une marche inverse de celle de l'alcool. L'air passe ensuite dans une série de flacons laveurs dans lesquels il se débarrasse des traces de produits volatils qu'il aurait pu entraîner.

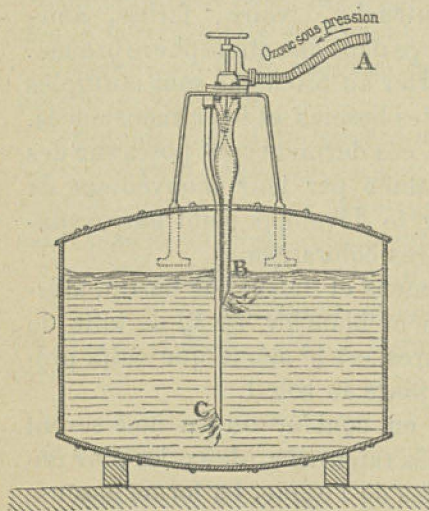


FIG. 24. — Appareil portatif pour l'ozonisation directe en fûts.

Liquides en fûts. — Le traitement des liquides en fûts, des bières en particulier, ou l'épuration de petites quantités d'eau peut se faire à l'aide de l'appareil que nous représentons figure 24. Cet appareil est constitué par un émulseur qui supporte un pied triangulaire; l'air ozoné arrivant sous une légère pression par la tubulure A, s'échappe par l'orifice B en produisant dans le tube C un appel énergique; l'émulseur fonctionne, en quelque sorte, comme un Giffard.

Appareil méthodique. — Pour le traitement de masses considérables, dans le cas, par exemple, de la fabrication des huiles siccatives, de certains parfums, des matières colorantes, nous avons imaginé un appareil dont la figure 25 donne une vue d'ensemble.

L'ozone arrive par une conduite A, passe dans un compteur enregistreur, dans un récipient de sûreté B, puis est amené dans

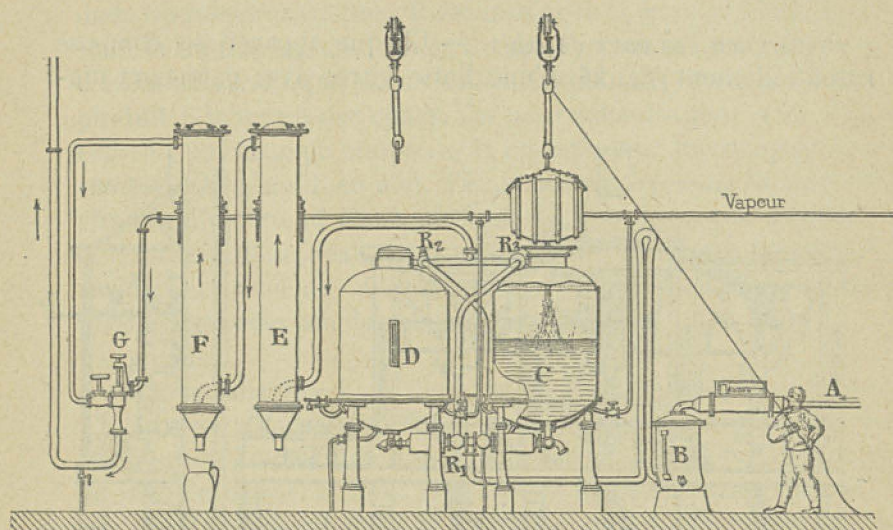


FIG. 25. — Vue d'ensemble d'un appareil pour l'oxydation méthodique des liquides.

les récipients C et D dans lesquels on a préalablement placé le liquide à traiter: ces récipients pouvant être chauffés à feu nu ou par un courant de vapeur.

Un jeu de robinets R^1 , R^2 , R^3 , permet de grouper les deux cuves de façon que l'ozone passe soit de C en D, soit de D en C. Le liquide contenu dans la cuve, qui reçoit l'ozone en second lieu, assure seulement l'utilisation complète du gaz; dans une opération subséquente, il sera oxydé le premier.

Les vapeurs entraînées par l'air ozoné, se condensent dans une série de tubes verticaux E, F et l'air est finalement chassé par l'éjecteur à vapeur G.

L'appareil est d'une manœuvre facile et fournit d'excellents résultats.

III. — PRÉPARATION DES EAUX DE TABLE ET DE LA GLACE STÉRILISÉES.

Ces applications nouvelles et intéressantes de l'ozone méritent d'être décrites avec quelques détails. Elles démontrent que si l'ozone peut être utilisé pour le traitement de grandes masses d'eau, on peut l'employer avec avantage pour la stérilisation de quantités beaucoup plus faibles.

Préparation des eaux de table. — Chaque appareil se compose essentiellement (fig. 26) d'une hotte vitrée avec panneaux mo-

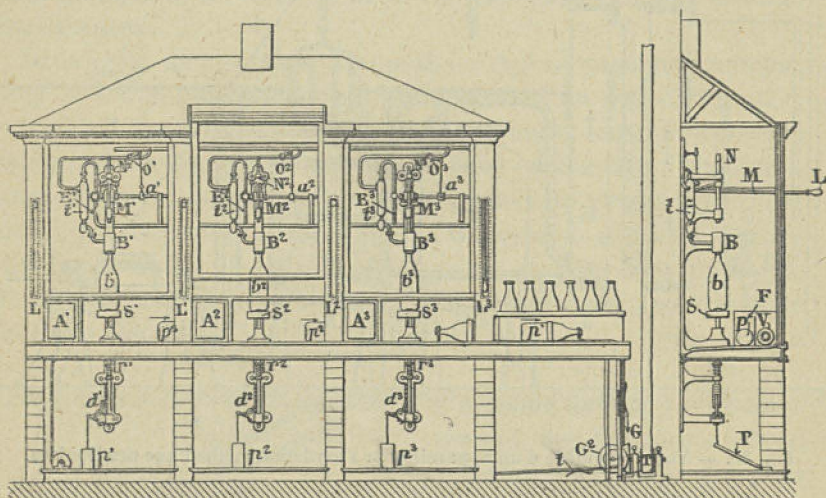


FIG. 26. — Appareil pour la préparation des eaux de table stérilisées.

biles, fermée à droite par deux portes, qui s'ouvrent et se ferment automatiquement pour laisser passer les bouteilles vides v^1 , v^2 , v^3 , et les bouteilles pleines p^1 , p^2 , p^3 , qu'amènent et ramènent deux toiles sans fin t animées par une transmission T .

Les appareils à remplir et à boucher les bouteilles se composent chacun (voir à droite de la figure) d'une armature en fonte fixée contre le fond de la hotte; cette armature porte un support S qu'on manœuvre au moyen d'une pédale P , qui commande un levier à encliquetage. Sur ce support est fixée la bouteille b qui vient s'appuyer contre une pièce en bronze B disposée pour servir à la fois à l'introduction de l'eau chargée d'ozone et au bouchage. Un levier L commande d'une part les robinets E et O

d'admission d'eau et d'ozone, d'autre part la tige N par l'intermédiaire de deux bras M disposés en forme de fourche.

A gauche de chaque appareil se trouve une ouverture A¹, A², A³, munie d'un manchon en toile fixé sur le bras de l'ouvrier chargé de la manœuvre.

L'eau se charge d'ozone dans un mélangeur spécial *t* et arrive sous forme d'une émulsion gazeuse dans les bouteilles.

Le mélangeur *t* est formé par la réunion de trois trompes en verre dans un même manchon. Il fonctionne à la manière d'un émulseur, le liquide arrivant par la branche verticale aspire le courant d'ozone arrivant par la branche horizontale, et l'émulsion se produit à la sortie des cônes. On pourrait substituer à cet appareil soit une trompe simple, soit un agitateur mécanique quelconque. Quoi qu'il en soit, l'émulsion arrive dans la bouteille chargée d'un grand excès d'ozone qui provoque non seulement la stérilisation de l'eau, mais encore celle des parois internes du récipient lui-même. L'eau contenue dans la bouteille reste phosphorescente pendant quelques secondes.

Fonctionnement. — La manœuvre de l'appareil est la suivante :

L'ouvrier est assis en face de son appareil, la main gauche passée dans l'ouverture A, le pied gauche appuyé sur la pédale ; de la main droite, il tient le levier L. Le levier étant abaissé, il saisit de la main gauche une bouteille vide *v* que lui apporte la toile sans fin ; il place cette bouteille sur le support et la cale en cessant d'appuyer sur la pédale. Il soulève le levier, les robinets E et O s'ouvrent, l'émulsion d'eau et d'ozone pénètre dans la bouteille. Pendant que cette dernière se remplit, il saisit de la main gauche un bouchon et l'introduit dans le cône que porte le manchon en bronze B sous la tige N. Dès que le remplissage est terminé, l'ouvrier abaisse le levier avec la main droite et tandis qu'il bouche la bouteille, il ferme du même coup les robinets E et O. Il saisit alors la bouteille avec la main gauche, appuie sur la pédale pour la dégager, et la place sur la toile sans fin qui la sort de la hotte.

Au lieu de boucher les bouteilles au liège, on peut les boucher à l'aide d'un bouchon de verre ou d'un obturateur mécanique quelconque.

Il va sans dire que le procédé et l'appareil que je viens de décrire ne s'appliquent pas seulement à la stérilisation de l'eau. On peut les utiliser pour stériliser tous les liquides : en parti-

h^3 . Les portes K et L s'ouvrent alors brusquement ; elles retombent, en vertu de leur propre poids, dès que le doigt H^2 abandonne la pièce h^1 . La durée d'ouverture des portes, déterminée par la longueur du doigt H^2 , correspond exactement au temps que mettent les caisses pour avancer d'un rang. Les robinets G et F sont munis de manettes mm' que commande la tige AB. Par un réglage convenable il est possible d'ouvrir ces robinets pendant le temps strictement nécessaire pour le remplissage des carafes.

La marche automatique des caisses se fait par l'intermédiaire

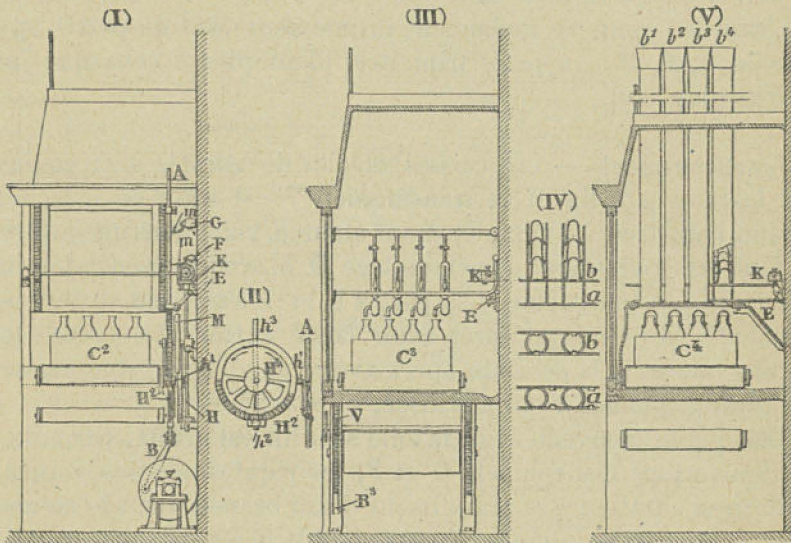


FIG. 28. — Détails de l'appareil pour la préparation des carafes frappées.

d'une roue à encliquetage M, que commande un doigt très résistant D (*fig. 27*). Le rapport des diamètres entre la roue à encliquetage et le rouleau R, qu'elle commande par l'intermédiaire d'une transmission M, est calculé de telle manière, que la toile sans fin sur laquelle reposent les caisses est entraînée, à chaque mouvement ascensionnel de la tige AB, d'une longueur égale à la distance qui sépare les parties avant de deux quelconques d'entre elles.

J'indique dans les coupes (*fig. 28, IV et V*) le détail du système de bouchage. Ce système est commandé par la transmission E que la tige AB anime d'un mouvement circulaire alternatif. Cette transmission, par l'intermédiaire de cinq paires d'obtura-

teurs formés par des fourches O^1, O^2, O^3, O^4, O^5 (voir le plan), à parties étranglées, laisse tomber en temps opportun un capuchon formant obturateur sur chacune des carafes qui viennent de subir l'opération du remplissage. Ces capuchons, qui peuvent être en verre ou en métal inoxydable, sont rangés par piles dans de grands tubes verticaux b^1, b^2, b^3, b^4 . Ils descendent en vertu de leur propre poids. Ils portent à leur partie inférieure une couronne de feutre.

Le rouleau R^3 (fig. 27) est mobile dans le sens vertical. Il peut être abaissé à l'aide d'un mécanisme que commande le volant V et sert à tendre la toile sans fin.

L'eau et l'ozone se mélangent intimement dans de petits appareils $t^1, t^2, t^3...$, appelés triplettes, identiques à ceux que j'ai décrits plus haut.

Fonctionnement. — Les caisses garnies de carafes sont posées sur la toile sans fin et la transmission T est mise en marche. Quand l'appareil est complètement amorcé, voici dans quel ordre se font les opérations : l'encliquetage D provoque la marche en avant de tout le système. Les portes K et L s'ouvrent et se referment : la première, après avoir laissé entrer une caisse de carafes vides, et la seconde après avoir laissé sortir une caisse de carafes, pleines d'eau stérilisée, et bouchées.

Dès que le mouvement de la toile sans fin est arrêté, par suite de l'ouverture des robinets G et F, les carafes placées sous la batterie d'émulseurs se remplissent d'eau ozonée. Dans le même temps, les carafes pleines placées sous la série de tubes contenant les capuchons sont bouchées.

Ceci fait, par suite du mouvement de la tige AB, la toile sans fin reprend sa marche, entraînant de nouvelles caisses de carafes, et la même série d'opérations se répète indéfiniment. Les carafes qui arrivent dans la chambre de réfrigération sont soumises à une température inférieure à 0° . L'eau qu'elles contiennent est congelée.

En remplaçant les carafes par des mouleaux de formes appropriées, on peut faire des blocs de glace stérilisée.

IV. — PRÉPARATION DE L'ODOFORME.

Le procédé que je vais indiquer et que j'ai découvert est intéressant, car il montre le rôle curieux et quelque peu paradoxal,

en apparence, que l'ozone peut jouer dans certaines préparations et en particulier dans celles d'un corps ne contenant pas d'oxygène comme le triiodure de carbone : CHI_3 .

L'iodoforme se prépare généralement en faisant réagir l'iode en présence d'un alcali sur l'alcool.

MM. Cornélis et Gilles ont bien essayé de substituer à l'iode pur, l'iodure de potassium ; leur procédé consiste à traiter une solution alcoolique d'iodure de potassium par l'hypochlorite de chaux. Mais on obtient ainsi une masse cristalline confuse formée par un mélange d'iodoforme et d'iodate de calcium. Les rendements ne sont pas très élevés. De plus l'iodoforme obtenu est assez difficile à purifier.

Il est certain qu'un procédé qui permettrait de chasser intégralement l'iode d'une de ses combinaisons alcalines ou même des eaux mères provenant directement de l'épuisement des varechs, pour l'unir à un radical carboné capable de donner de l'iodoforme, réaliserait un grand progrès sur ce qui a été fait jusqu'ici ; l'ozone permet d'atteindre le but que je viens d'indiquer.

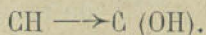
J'ai découvert en effet que si l'on traite par ce dernier mélange d'iodure de potassium et d'alcool à la température de 50° centigrades, on obtient de l'iodoforme très pur. On peut opérer en présence d'un alcali ou d'un carbonate alcalin.

La fixation de l'iode mis en liberté par l'ozone sur un radical hydrocarboné, pour donner l'iodoforme CHI_3 , est un fait des plus curieux. J'ai démontré moi-même, en effet, qu'en présence de l'ozone, l'iode s'oxyde facilement et s'unit alors énergiquement aux bases ; les affinités mises en jeu pour la formation de l'iodoforme sont donc plus puissantes que ces dernières.

L'iodoforme préparé à l'aide de l'ozone a une odeur moins forte que l'iodoforme ordinaire.

V. — MATIÈRES COLORANTES.

J'ai établi que sous l'influence de l'ozone le groupe CH de certaines leucobases se transforme en carbinol correspondant :



Je poursuis l'étude de cette réaction qui présente un très grand intérêt pour l'industrie des matières colorantes.

USC
MERC
LILLE

VI. — APPLICATIONS MÉDICALES.

Plusieurs savants ont démontré que l'ozone peut être employé avec beaucoup de succès dans le traitement de certaines maladies provenant de l'appauvrissement du sang ou du ralentissement des fonctions de la nutrition : anémie, chloro-anémie, etc.

La tuberculose, à ses débuts, peut être guérie par des inhalations prolongées d'ozone.

Hôpital Boucicaut. — Pour répondre au désir exprimé par M. le professeur Letulle, le savant praticien, et M. le docteur

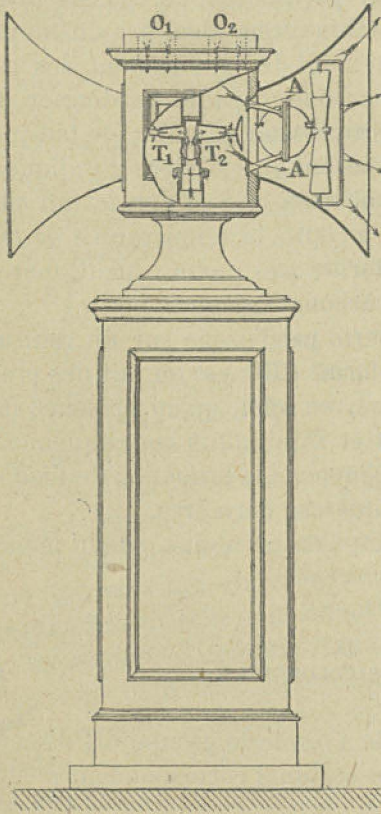


Fig. 29. — Distributeur d'air ozoné pour les hôpitaux.

Labbé dont les travaux sur l'ozone sont bien connus, la *Compagnie de l'Ozone* vient d'installer dans les services de l'Assistance publique, à l'Hôpital Boucicaut à Paris, un ensemble d'appareils permettant d'ozoner 1400 m^3 d'air à l'heure; ils vont permettre de maintenir les malades dans une sorte d'atmosphère artificielle.

L'installation présente quelques particularités intéressantes.

L'hôpital Boucicaut étant desservi par du courant continu à 110 volts, il a fallu transformer ce courant en courant alternatif de façon à pouvoir en élever la tension; c'est ce que nous avons fait à l'aide d'un alterno-moteur. Cet appareil joue non seulement le rôle de transformateur, mais permet encore de communiquer aux ozoneurs leur mouvement de rotation.

Le courant alternatif qu'il produit, élevé à la tension voulue,

est envoyé directement à une batterie de trois ozoneurs rotatifs.

L'ozone est amené dans les salles de malades à l'aide d'un petit

appareil d'aspect gracieux, que nous nommons ventilateur mélangeur.

Sur une colonne en bois (*fig. 29*) sont fixés deux pavillons à l'intérieur desquels se meuvent deux hélices mues électriquement. L'ozone est conduit dans l'appareil par les deux tubulures coniques T¹, T², dont un robinet permet de régler le débit; il se mélange intimement à l'air qui arrive suivant la direction des flèches marquées A, et les hélices des ventilateurs l'envoient dans la salle.

Un compteur enregistreur complète l'installation et permet de relever des diagrammes horaires de la marche des appareils.

Distribution de l'ozone à domicile. — Tout le monde ne peut avoir à sa disposition une installation aussi importante que celle que nous venons de décrire.

Nous avons étudié de petits modèles d'ozoneurs portatifs pouvant se brancher directement sur des circuits de distribution de lumière. Ces appareils ne sauraient être malheureusement confiés à des mains inexpérimentées. Aussi pour donner satisfaction à de nombreux malades, avons-nous songé à livrer à domicile de l'ozone pur soigneusement dosé, comme certains industriels livrent déjà de l'oxygène.

Nous représentons (*fig. 30*) l'appareil qui a été établi à la suite d'une nombreuse série d'expériences et d'essais. Il est constitué par un récipient en verre d'une capacité de 10 l environ; un solide clissage le protège contre les chocs. Le récipient est fermé par une tubulure métallique munie de deux robinets à virole et d'un ajutage sur lequel vient se fixer une poire en caoutchouc.

L'ozone contenu dans l'appareil est chassé en pressant sur la poire. En manœuvrant convenablement les deux viroles qui commandent les robinets d'air et d'ozone, on peut faire varier les proportions relatives de ces derniers.

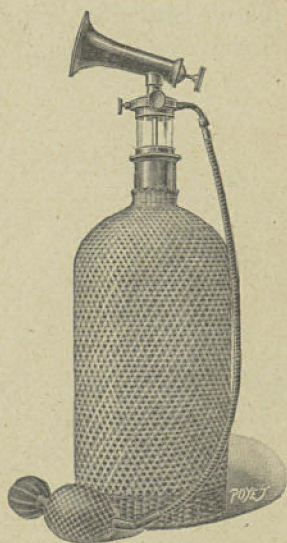


FIG. 30. — Appareil pour livrer l'ozone à domicile.

Telles sont, rapidement passées en revue, les applications récentes réalisées dans l'industrie de l'ozone.

Les résultats acquis font bien augurer de l'avenir.

Ce que nous avons cherché à réaliser, c'est surtout une œuvre d'ensemble. Il fallait non seulement trouver des moyens propres à la production de grandes quantités d'ozone, mais on devait encore en indiquer les modes d'application pratique, étudier les conditions particulières qui doivent présider à leur emploi et mettre entre les mains des ouvriers des instruments d'un manie-ment commode et sûr.

L'avenir terminera l'œuvre que nous avons ébauchée et à la réalisation de laquelle tant de chercheurs et de savants ont apporté le contingent de leurs forces, de leurs travaux, de leur intelligence et de leur volonté.

« Il n'y a pas de découverte dans la chimie moderne, a dit Frémy, qui soit plus importante que celle de l'ozone. »

Cette découverte est restée longtemps inexploitée. Il appartient maintenant aux industriels et aux ingénieurs d'en utiliser les ressources infinies.