

254.3

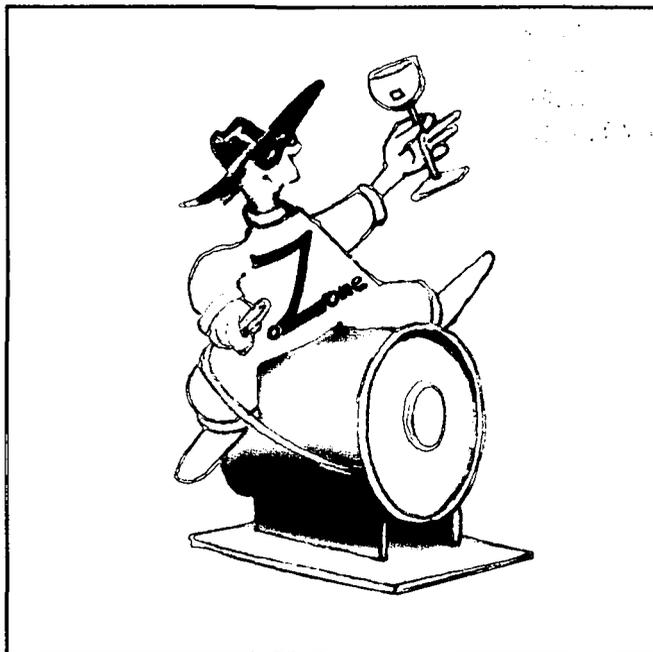
88 02

9.

LES
CAHIERS
TECHNIQUES



fondation
de l'eau



L'OZONATION DES EAUX

PRINCIPE, EXPLOITATION ET
MAINTENANCE DES INSTALLATIONS

2543-0802-6733

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

CAHIERS TECHNIQUES DE LA DIRECTION DE L'EAU, DE LA PREVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES

Ce cahier technique a été réalisé
avec le concours de la Société



Achevé d'imprimer le 31 décembre 1988
Imprimerie Centre Impression - Limoges

© Fondation de l'Eau 1988
Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays

Prix : **75 FF/TTC**
Franco de port France métropolitaine

PREFACE

Pour protéger la santé des populations contre les risques de maladies hydriques, les hygiénistes ont progressivement défini des règles et des normes de qualité.

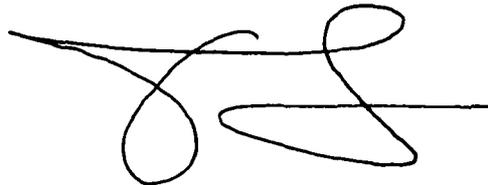
Pour atteindre les objectifs ainsi fixés, différents moyens peuvent être mis en œuvre, dont le traitement des eaux.

Chaque technologie présente des avantages mais également des limites, les uns et les autres devant être bien connus des concepteurs. Le responsable de l'exploitation des installations doit, lui aussi, être bien formé et informé. En effet, l'aspect essentiel et, peut-être, le plus difficile à maîtriser est celui du bon fonctionnement quotidien des installations qui, seul, assure la réelle protection sanitaire.

Dans la production d'eau destinée à la consommation humaine, l'ozone constitue un moyen de traitement efficace dont l'emploi s'est développé au cours des années. La circulaire du 12 août 1929, portant instructions générales pour "l'application des procédés de correction et de stérilisation des eaux potables", citait ce procédé parmi ceux autorisés.

On ne peut donc que féliciter la Fondation de l'Eau d'avoir complété la collection des CAHIERS TECHNIQUES par le présent fascicule qui apportera, grâce à une formule pédagogique efficace, des informations très précises aux professionnels concernés et qui contribuera ainsi au développement de l'hygiène publique.

Dominique TRICARD,
Chef du Bureau Eau et Thermalisme
Ministère de la Solidarité,
de la Santé et de la Protection Sociale.



LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IIRC)
P.O. Box 93190, 2509 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext 240/242

ISBN: 6733

754.3 8802

Sommaire

Des pages jaunes pour mieux utiliser ce guide

Des pages roses pour tester vos connaissances

Des pages bleues pour les informations théoriques

Des pages vertes pour vous aider à résoudre des problèmes concrets et quotidiens

<input type="checkbox"/>	1 POUR QUI, POUR QUOI?	Page 3
	A qui et à quoi peut servir ce guide et la façon de l'utiliser efficacement.	
<input checked="" type="checkbox"/>	2 JEU-TEST	4
	Pour sonder vos connaissances sur l'ozonation. A faire avant et/ou après la lecture du guide.	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 LE SAVEZ-VOUS ?	6
<input checked="" type="checkbox"/>	4 PRODUCTION DE L'OZONE	16
	— Principe d'un générateur élémentaire	
	— Caractéristiques des ozoneurs	
	— Ozoneurs industriels	
	— Influence des paramètres de fonctionnement	
	— Maintenance des ozoneurs	
	— Autres types de cellules	
	— Variantes	
<input checked="" type="checkbox"/>	5 TRAITEMENT DE L'AIR	21
	— Sous pression	
	— Sous faible pression	
<input checked="" type="checkbox"/>	6 MISE EN ŒUVRE DE L'OZONE	24
	— Dispersion des gaz	
<input checked="" type="checkbox"/>	7 DESTRUCTION DE L'OZONE RESIDUEL	27
	— Destruction de l'ozone résiduel dans l'eau	
	— Neutralisation de l'ozone résiduel aux événements	
<input checked="" type="checkbox"/>	8 SECURITE D'UTILISATION	28
	— Sécurité des personnels	
	— Sécurité de fonctionnement des installations	
<input checked="" type="checkbox"/>	9 ANNEXES	30
	— Mesure du point de rosée de l'air	
	— Mesure de la concentration en ozone	
<input checked="" type="checkbox"/>	10 JEU-TEST	34
<input type="checkbox"/>	11 LEXIQUE	35
<input type="checkbox"/>	12 INDEX	35



POUR QUI POUR QUOI?

POUR QUI? POUR QUOI?

Ce cahier technique s'adresse aux gestionnaires d'usines de traitement d'eau, aux prescripteurs et à tous ceux qui souhaitent mieux connaître l'utilisation de l'ozone dans le domaine de l'eau.

La recherche permanente d'une meilleure qualité de l'eau distribuée amène les traiteurs d'eau à développer des filières de traitement de plus en plus complexes, dans lesquelles s'insère de plus en plus naturellement une étape d'ozonation.

Or, l'ozone pose des contraintes spécifiques tant au niveau de la définition des équipements, qu'ensuite, lors de leur exploitation, pour obtenir la meilleure efficacité, en terme technico-économiques, des investissements réalisés.

Il importe alors que les parties concernées maîtrisent bien les avantages et difficultés liés à l'ozonation.

COMMENT?

Ce cahier technique peut s'utiliser de plusieurs façons : pour une première lecture, nous vous conseillons de feuilleter l'ensemble afin de bien comprendre la structure, la couleur des pages (voir sommaire) vous indiquant le type d'informations fournies, puis de reprendre au début.

En suivant l'ordre proposé, vous aurez ainsi une bonne compréhension :

- de l'apport de l'ozonation en tant qu'étape du traitement de l'eau,
- de la préparation et de la mise en œuvre de l'ozone.

Si vous cherchez une information précise, le lexique et/ou l'index peuvent vous permettre de la trouver rapidement.

Avec tous nos encouragements,
BON TRAVAIL.



CACHER LA PARTIE "REPONSES AU TEST".

PRENDRE UN CRAYON A PAPIER.

LIRE ATTENTIVEMENT LES QUESTIONS.

COCHER LA OU LES CASES DES REPONSES PROPOSEES
QUI VOUS SEMBLERENT JUSTES
(pour une même question, une ou plusieurs réponses sont possibles)

CONSULTER LES REPONSES.

1

L'ozone est utilisé pour :

- a - désinfecter l'eau
- b - éliminer les particules en suspension
- c - réagir avec l'ammoniaque
- d - lutter contre les mauvais goûts

2

L'ozone est un gaz :

- a - stocké sous pression
- b - préparé sur place à partir d'air ambiant

3

L'ozone possède une rémanence suffisante pour protéger l'eau pendant son transport :

- a - oui
- b - non

4

La consommation d'ozone augmente lorsque :

- a - le pH de l'eau augmente
- b - le pH diminue
- c - la température de l'eau augmente
- d - la température diminue

5

Le réactif de terrain utilisé pour mesurer un résiduel d'ozone est :

- a - DPD n° 1
- b - DPD n° 3
- c - DPD n° 4

6

La production d'un gramme d'ozone consomme :

- a - 2 à 4 Wh
- b - 8 à 10 Wh
- c - 14 à 18 Wh

7

Un ozoneur produisant 1.000 g/h contient environ :

- a - 10 tubes
- b - 50 tubes
- c - 200 tubes

8

Le point de rosée caractérise :

- a - la teneur en eau de l'air
- b - la température de l'air
- c - la température de fonctionnement d'un ozoneur

9

Lorsque la fréquence du courant d'alimentation augmente, la production d'ozone :

- a - diminue
- b - stagne
- c - augmente

10

Le rendement d'un ozoneur industriel est de l'ordre de :

- a - 4 à 5%
- b - 50 à 55%
- c - 80 à 85%

11

Le prétraitement de l'air consiste à le :

- a - filtrer
- b - sécher
- c - chauffer
- d - stériliser

12

Un appareil à 1 tube produit :

- a - 12 g/h à 1.000 l/h sous 200 W
- b - 14 g/h à 800 l/h sous 250 W
- c - 10 g/l à 600 l/h sous 150 W

13

A quoi sert l'alumine activée :

- a - à filtrer l'air
 b - à sécher l'air

14

Un point de rosée de -50°C correspond à une teneur en eau de :

- a - 4 g/m^3
 b - $0,4\text{ g/m}^3$
 c - $0,04\text{ g/m}^3$

15

La désinfection à l'ozone nécessite un contact de :

- a - 4 mn
 b - 14 mn
 c - 40 mn

16

L'air à la sortie des tours d'ozonation contient :

- a - pas d'ozone
 b - 1 à 2 g/m^3 d'ozone

17

La teneur limite de l'air ambiant en ozone est de :

- a - 0,05 ppm
 b - 0,1 ppm
 c - 0,3 ppm

18

L'ozone est un gaz :

- a - plus lourd que l'air
 b - moins lourd que l'air

19

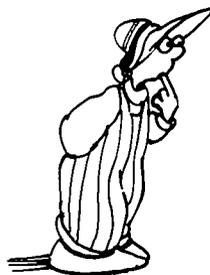
La destruction thermique de l'ozone résiduel aux événements consomme :

- a - 10 Wh/m^3
 b - 35 Wh/m^3
 c - 60 Wh/m^3

20

Les matériaux résistants à l'ozone sont :

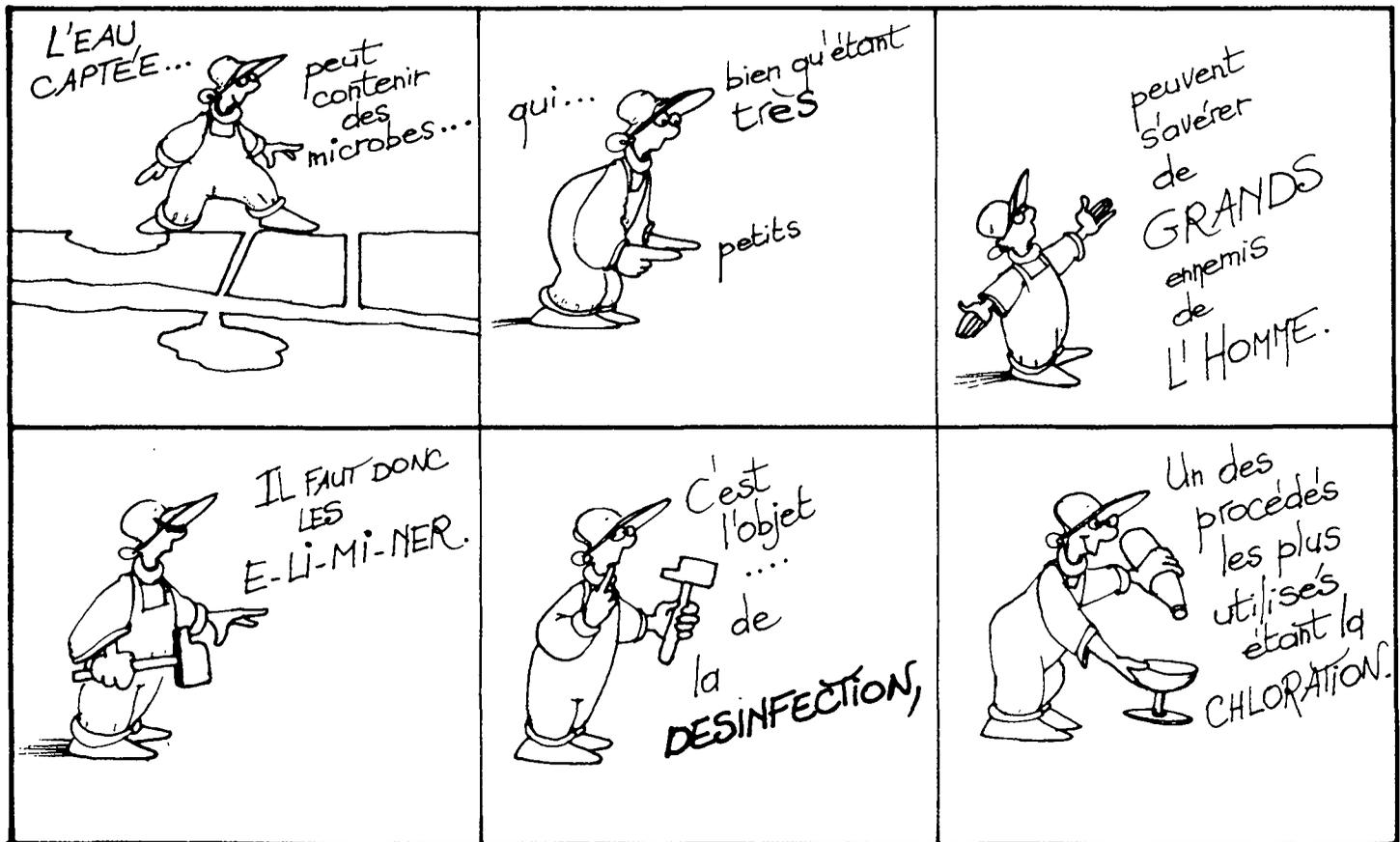
- a - hypalon
 b - acier
 c - béton

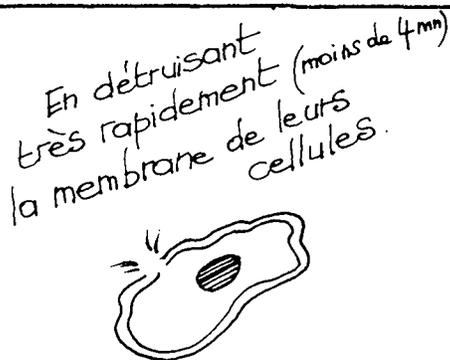
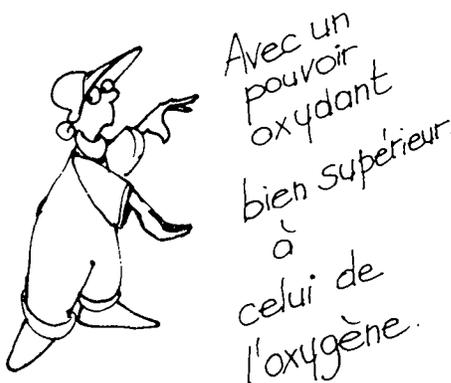


Réponses au test

QUESTIONS	REPONSES	VOIR PAGE
1	a - d	6 à 15
2	b	6 à 15
3	b	6 à 15
4	a - c	6 à 15
5	c	33
6	c	17
7	b	17
8	a	21
9	c	20
10	a	16
11	a - b	18
12	a - b	18
13	b	22
14	c	21
15	a	24
16	b	24
17	b	28
18	a	28
19	b	27
20	a - c	29

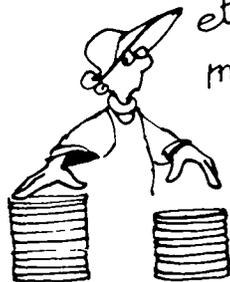
3 LE SAVEZ-VOUS?







Mais,
me direz-vous,
puisque le
Chlore le
fait aussi...
(Certes, un peu moins
rapidement...)



et pour un
moindre coût...



Pourquoi
donc
utiliser
L'OZONE?



Eh bien,
c'est là
qu'intervient
le
SUPER-POUVOIR
OXYDANT
DE
L'OZONE.



LES
COMPOSÉS
D'ORIGINE
MINÉRALE.



Par exemple,
le fer ferreux
dissous dans
l'eau, se
transforme...



... en fer
ferrique,
précipité, que
l'on peut éliminer
facilement par
décantation.



LES
COMPOSÉS
ORGANIQUES



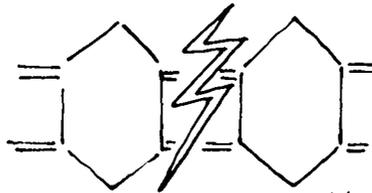
Comme les
membranes
cellulaires des
bactéries

Ça suffit,
on en a
déjà parlé...



...et des
molécules
organiques
dissoutes,
d'origine
animale
ou
végétale:

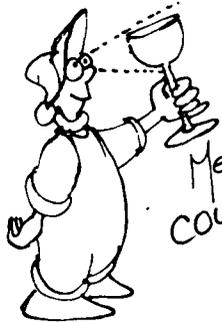
L'oxydation permet
la coupure des
longues molécules...



(par action sur les doubles-
liaisons)



Cela se traduit
par une
amélioration
de la
qualité
ORGANOLEPTIQUE
DE L'EAU:



Meilleure
COULEUR



Meilleure
ODEUR



Meilleure
GOULEUR
Euh...
Meilleur
GOÛT
plus exactement...



La victoire
du
Chlore sur
les bactéries
avait un
GOÛT AMER...



L'EAU
JAUNE,
NON...



L'OZONE,
OUI...

Comme quoi, les goûts et les
couleurs, ça se discute...

QUELQUES POINTS NOIRS, CEPENDANT...



L'OZONE présente quelques... petites particularités...



L'OZONE EST ... INSTABLE INSI ABLE INSI A 3LE



a. Il est donc impossible de le stocker...



Ce qui oblige à le produire juste avant son utilisation:



C'est le rôle des OZONEURS...



qui, en soumettant l'oxygène à une décharge électrique le transforme en ozone.

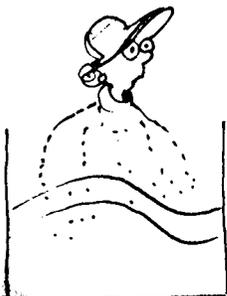
L'OXYGÈNE nécessaire, on le trouve dans l'air:



Comme il doit être propre et sec, on le traite avant de l'envoyer dans l'ozoneur.



b. L'OZONE
s'autodétruit
rapidement
dans
l'eau...



d'autant plus rapidement
que le pH de l'eau est élevé



et que la
TEMPÉRATURE est élevée

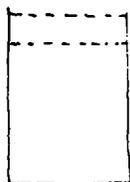


EXEMPLE :

A température
constante,
après 15 minutes
de contact
eau-ozone,
il reste :



pH 7,6



80%
du résiduel

pH 9,2



8%
du résiduel

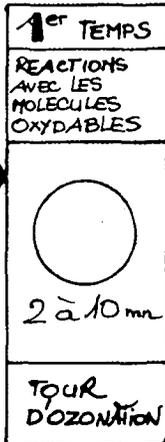
Cette
auto-destruction
rapide
est un des
facteurs
qui oblige
à
une INJECTION
en
2 TEMPS



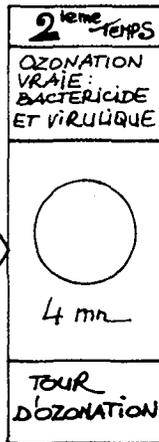
EAU: 0 mg/l d'ozone

1^{er} TEMPS

On répond à la
demande de
l'eau en ozone:
2 à 10 mn pour
amener l'eau à
une teneur de
0,4 mg/l d'ozone.



0,4 mg/l d'ozone



0,4 mg/l d'ozone

2^{ème} TEMPS

Mise en contact
pour la désinfection:
la teneur est
maintenue à
0,4 mg/l d'ozone.





Comme l'ozone disparaît rapidement dans l'eau, en cas de contamination accidentelle dans le réseau de distribution, les BACTERIES ne seraient pas DÉTRUITES...



Suite à l'ozonation, on procède donc souvent à une...

Ozonation

post désinfection, au chlore... ou

Post Désinfection



...au dioxyde de chlore, qui eux possèdent une rémanence suffisante.



C'est d'autant plus NÉCESSAIRE...



que l'ozonation, en CASSANT les molécules, permet aux bactéries...



... de mieux les assimiler et donc, de se développer plus rapidement.

REMARQUE

S'il reste un peu d'ozone, l'injection d'ozone entraîne...



POST-DÉSINFECTION

... une surconsommation de et provoque parfois l'apparition de produits indésirables.



O₃ Cl₂

Aussi, procède-t-on quelquefois, à la DESTRUCTION Totale de l'ozone résiduel.



DESTRUCTION DE L'ozone résiduel

INJECTION DE CHLORE.



Vu toutes ses qualités,
L'OZONE est utilisé à plusieurs stades de la filière de traitement de l'EAU.



1. EN PRÉOZONATION

a. POUR ELIMINER LE FER ET LE MANGANESE

(lorsque l'oxydation est difficile)

POUR LE FER:
Passage du stade ferreux (dissous) au stade ferrique (précipité)

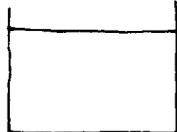


Pour le MANGANESE, il faut faire ATTENTION:

A la bonne dose d'ozone (Environ 0,9 mg par mg de Manganèse), il se forme un précipité récupérable.



Mais si la dose est trop forte, le permanganate se dissout, ce qui donne une couleur rose à l'eau...



Remarque, un petit rose, bien frais, c'est pas si mal...

b. CELA PERMET AUSSI UNE OXYDATION PLUS POUSSÉE des matières organiques. (bien meilleure qu'avec d'autres oxydants (Chlore...))

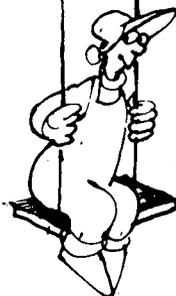
EN PARTICULIER, pas d'apparition de THM*



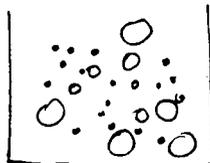
* Voir LEXIQUE

ATTENTION,

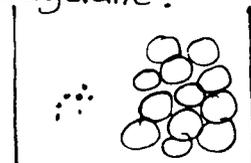
car si la dose d'ozone n'est pas bien ajustée, les sous-produits résultant de l'oxydation incomplète, peuvent être plus INDÉSIRABLES que les produits d'origine.



POUR LES PRODUITS EN SUSPENSION...



Il semble que l'ozone provoque une augmentation du nombre de particules de gros diamètres, et une diminution des particules plus petites; cela permet parfois une économie de coagulant.





2 EN OZONATION INTERMÉDIAIRE

L'OZONE EST UTILISÉ POUR DÉVELOPPER LES BACTÉRIES...

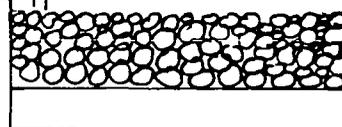
Mon dieu, comment est-ce possible!

Grâce au couple OZONE - CHARBON ACTIF EN GRAINS (CAG)

1 - L'OZONE permet un développement intensif des bactéries.

(Meilleure oxydation des matières organiques, donc meilleure assimilation par les bactéries.
• Oxygénation.

2 - LE CHARBON ACTIF détruit très rapidement l'ozone et l'empêche ainsi de tuer les bactéries.



FILTRATION SUR CAG

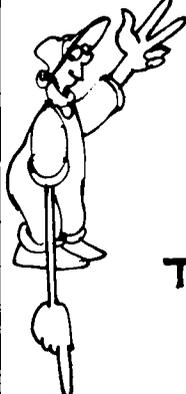


RÉSULTAT:

des bactéries en pleine forme, prêtes pour le traitement biologique -



Cela facilite en particulier la NITRIFICATION BIOLOGIQUE de l'ammoniaque sans utiliser la chloration au point critique.



1 - PREOZONATION

2 - OZONATION INTERMÉDIAIRE

3 - DESINFECTION

C'EST LA

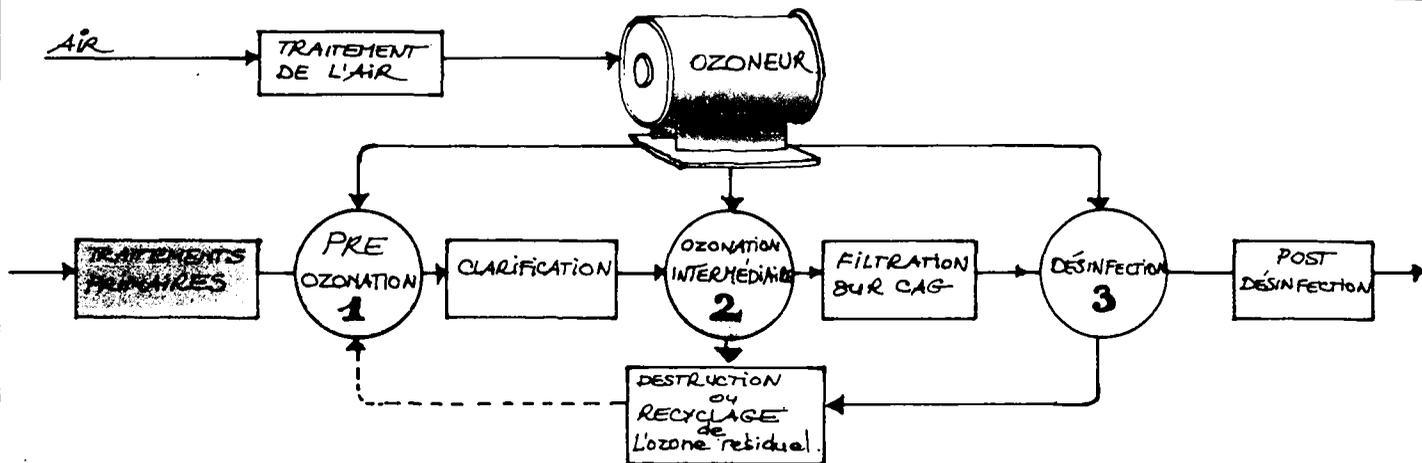
TRIOZONATION



REMARQUE ÉCONOMIQUE

La triozone peut permettre parfois jusqu'à 20% d'économie d'ozone par rapport à une seule ozonation finale.

ÉTONNANT, NON ?



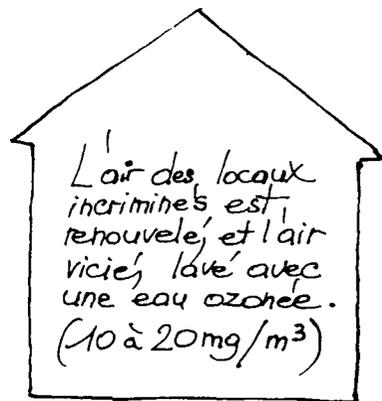


On utilise aussi
l'OZONE
dans
l'épuration
des
eaux usées.



Pour
DESODORISER
L'AIR

Pour réduire les
odeurs désagréables
dus à certaines
étapes du traitement
(prétraitement, boues...)



L'air des locaux
incriminés est
renouvelé et l'air
vicié lavé avec
une eau ozonée.
(10 à 20 mg/m³)



Pour
DESINFECTER
LES EAUX USEES...

C'est vraiment
l'eau-zone.

ET

Quand la chloration
est incompatible avec
l'utilisation finale
de l'eau traitée :

- irrigation
- zones sensibles.
(baignades,
aquaculture...)



Pour LES
TECHNICIENS:
LE DOSAGE

10 mg/l
sur un effluent
biologique

5 mg/l
sur un effluent
tertiaire filtré.

TEMPS DE CONTACT:
15-20 mn



ATTENTION

Que ce soit pour
le traitement ou
l'épuration des eaux,
L'OZONE entraîne
des contraintes
d'EXPLOITATION
et de
MAINTENANCE.

UN PERSONNEL QUALIFIE
EST INDISPENSABLE...



pour obtenir
les RESULTATS souhaités.

Mais, au bout du compte,
QUEL REGAL...



Voyons...
Je dirais...
du 82...
Cuvée
Spéciale...
OZONEE...

J.C. CHATELON 83-

4



PRODUCTION DE L'OZONE

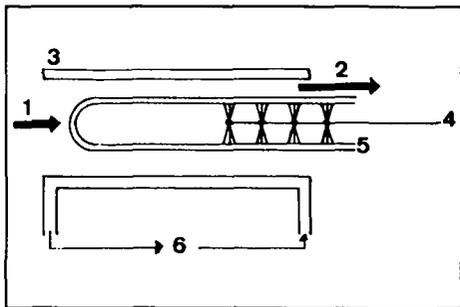
La synthèse de l'ozone se fait selon la réaction suivante :



Il est nécessaire de fournir une énergie spécifique de 0,82 Wh pour fabriquer 1 g d'ozone (34 kcal/mol), cette valeur est cependant tout à fait théorique et correspond à un rendement de 100% du dispositif de production.

L'apport de cette énergie est réalisé industriellement en soumettant de l'air à un champ électrique, par passage de cet air entre deux électrodes alimentées par une source de courant alternatif à haute tension.

Les générateurs les plus répandus sont les ozoneurs de type tubulaire.



Principe d'un générateur élémentaire.

- 1 - Air
- 2 - Air ozoné
- 3 - Electrode en acier inoxydable
- 4 - Connecteur
- 5 - Tube en verre diélectrique, revêtu intérieurement d'une couche métallique (électrode)
- 6 - Eau de refroidissement

ELECTRODE HAUTE-TENSION

Cette électrode est composée d'une enveloppe en verre, en forme de « doigt de gant », dont la face interne est métallisée.

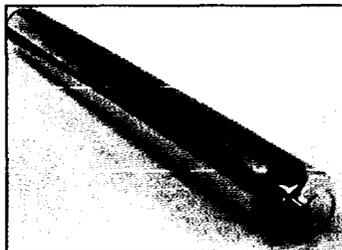
La métallisation est l'électrode HT proprement dite.

Le verre sert de diélectrique pour prévenir la formation d'arcs électriques ou de courts-circuits entre les électrodes; il doit posséder des caractéristiques spécifiques (permittivité et rigidité diélectriques) et être d'une épaisseur et d'un diamètre calibrés (respectivement 1,4 à 2 mm selon le constructeur et environ 75 mm). La longueur des tubes est généralement de l'ordre de 1,05 m.

Un connecteur spécial permet la liaison entre la source de courant et la couche de métal; ce connecteur peut être équipé d'un fusible haute tension pour isoler le diélectrique en cas d'incident (court-circuit local en particulier).

Cette électrode est centrée dans l'électrode BT par des dispositifs appropriés afin que la largeur de l'intervalle d'effluvage (distance entre les parois des électrodes) soit constante; cette largeur varie de 2 à 3 mm selon les appareils.

Electrode haute-tension.



ELECTRODE BASSE-TENSION

C'est l'enveloppe extérieure de l'ozoneur élémentaire décrit. Elle est reliée à la terre par la carcasse de l'appareil.

Le tube est réalisé en acier inoxydable (316 L le plus souvent), l'ozone étant un gaz très corrosif pour les autres nuances d'acier.

Les ozoneurs industriels actuels ayant des rendements de production de l'ordre de 4 à 5%, la majeure partie de l'énergie consommée est transformée en chaleur; ces calories doivent être évacuées :

- pour éviter une disparition rapide de l'ozone formé et une baisse de rendement de la production,
- pour éviter une détérioration des équipements.

Une circulation d'eau est donc réalisée autour du tube BT; le débit minimum est d'environ 3,5 l d'eau à 20 °C par g d'O₃ produit. Si l'eau de refroidissement disponible a une température supérieure, ce débit doit être augmenté.

CARACTERISTIQUES DES OZONEURS

Les caractéristiques des ozoneurs varient d'un constructeur à l'autre mais les valeurs moyennes suivantes sont généralement admises :

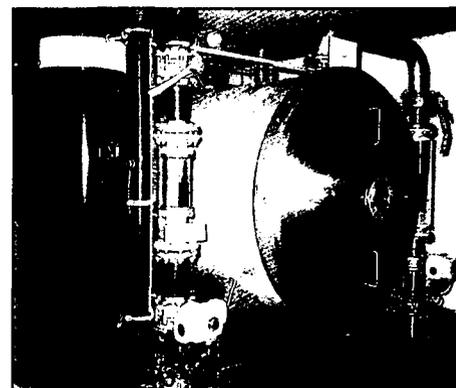
- tension entre les électrodes : 15.000 à 20.000 V,
- fréquence du courant : 50 à 60 Hz,
- débit d'air : au maximum 1.000 NI/h par tube,
- concentration du gaz obtenu : 15 à 25 g d'O₃/Nm³, soit 1 à 1,5% exprimés en poids (l'air pèse 1,29 g/NI),
- production spécifique : 15 à 20 g d'O₃/h par tube,
- consommation d'énergie : 14 à 18 Wh/g d'O₃ selon les conditions de fonctionnement de l'ozoneur, consommation à laquelle il faudra ajouter les consommations annexes (poste de prétraitement d'air en particulier),
- puissance appliquée : de l'ordre de 25 W par l/mn d'air sec,
- pression de fonctionnement : jusqu'à 1 bar (habituellement 0,5 à 0,6 bar). Il existe une pression optimale, fonction de l'intensité du champ électrique, l'écart de production lors d'un fonctionnement à une pression différente est plus ou moins marqué selon la fréquence de la tension électrique.

OZONEURS INDUSTRIELS

Ils sont constitués par l'assemblage de générateurs élémentaires

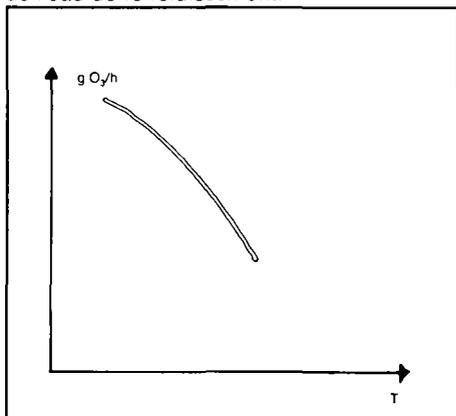
Le nombre de tubes dépend de la production totale désirée; de 3 tubes pour un appareil qui produira 45 g/h à 1.000 tubes pour produire 20 kg/h.

L'alimentation électrique de l'ensemble est assurée par des transformateurs spéciaux; de plus le fonctionnement particulier des ozoneurs (variations de la capacité diélectrique et donc de l'impédance de la charge) impose l'emploi de dispositifs adaptés pour éviter des problèmes tels que déséquilibre des phases, facteur de puissance inacceptable ou surtensions diverses.



Ozoneur industriel.

Production d'O₃ en fonction de la température de l'eau de refroidissement.

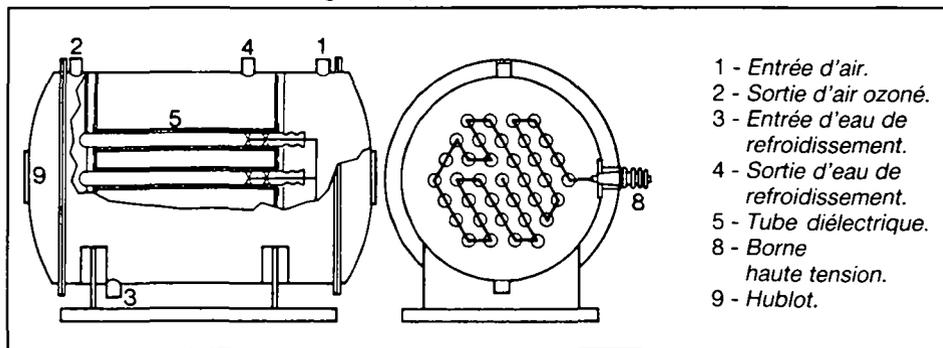


L'eau ne subissant pas d'altération (augmentation de température inférieure à 4 °C, contact avec des matériaux propres), elle peut être récupérée.

Ozoneur ouvert de face.



Ozoneur industriel (Source : Degrémont).



INFLUENCE DES PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

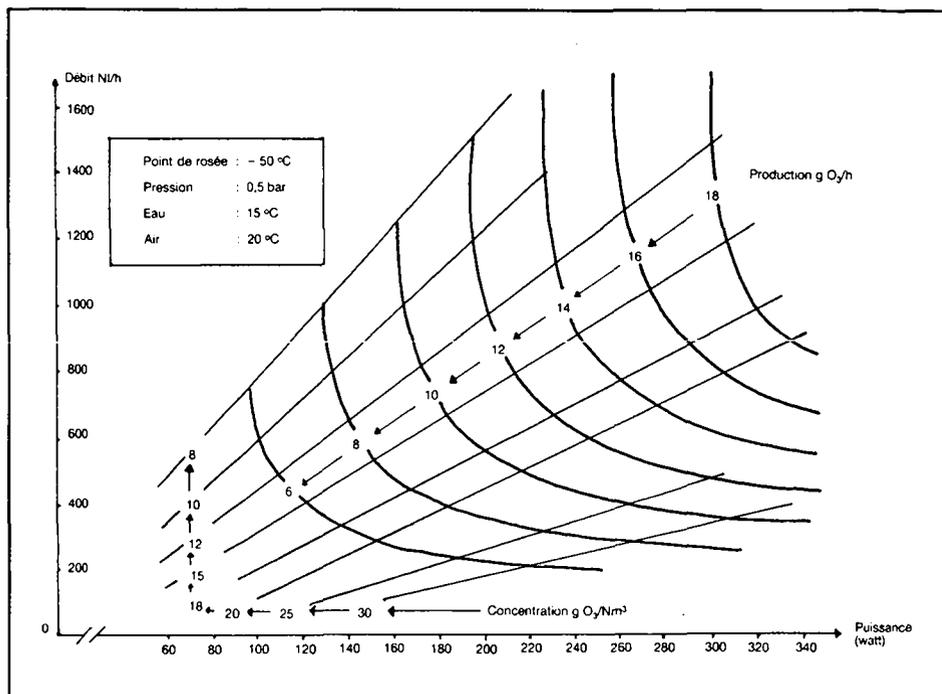
Les paramètres qui influent sur la production d'un appareil donné sont la puissance électrique appliquée et l'air utilisé.

- Puissance appliquée : la production d'ozone est pratiquement proportionnelle à cette puissance; le réglage se fait par ajustement de la tension secondaire du transformateur, soit par paliers, soit de manière continue.

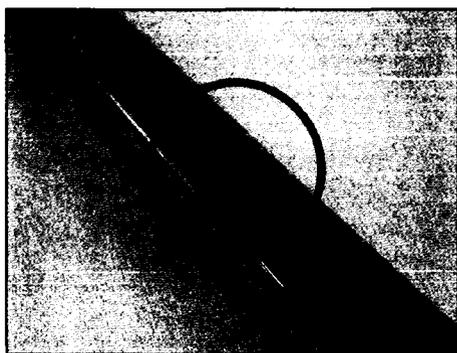
Les abaques fournis par le constructeur permettent alors d'ajuster le dosage voulu.

- Quantité d'air : la production d'ozone est influencée par le débit d'air qui traverse l'ozoneur, le facteur limitant étant le temps de « contact » de l'air dans l'appareil; le débit d'air maximum actuellement préconisé est de l'ordre de 1.000 NI/h.

De même, plus la concentration d'ozone dans l'air est grande, plus la production horaire diminue.



Production en fonction du débit d'air, de la puissance et de la concentration.



Tube en verre claqué.

Il est possible, sur certains appareils, de régler le débit d'air pour moduler la production; il convient alors d'être attentif à la concentration obtenue pour ne pas faire chuter les rendements de production et de dissolution; de plus, le bon fonctionnement des diffuseurs poreux nécessite un débit d'air minimum.

- Qualité de l'air : l'air utilisé doit être propre et sec; en effet, les poussières que contient l'air atmosphérique contribuent à la formation d'arcs électriques.

Ces arcs provoquent une consommation excédentaire d'énergie et des risques de détérioration des diélectriques (claquage du verre et de la couche métallique) ou des tubes (percements et fuites d'eau). Ces perturbations peuvent entraîner l'arrêt de tout ou partie de la production et des réparations longues et coûteuses.

L'air doit également être sec : la présence d'humidité provoque les mêmes effets que précédemment. La production chute d'environ 10% lorsque la teneur en eau de l'air croît de 0,01 (air sec) à 0,5 mg/l (point de rosée variant de - 50 à - 25 °C). Certains appareils rustiques admettent une alimentation à l'aide d'air ambiant; leur production diminue alors de 20 à 30%.

De plus, des oxydes d'azote étant produits pendant la décharge électrique, ceux-ci donnent naissance, en présence de vapeur d'eau, à divers composés tels que de l'acide nitrique par exemple : de 3 à 5 g de HNO₃/kg d'ozone produit avec un air très sec.

Les appareils ont alors tendance à s'encrasser rapidement : dépôts rougeâtres sur les tubes, qui modifient les conditions diélectriques et font chuter la production.

De plus l'acide présente des risques pour les équipements (corrosion) et le personnel d'entretien.

MAINTENANCE DES OZONEURS

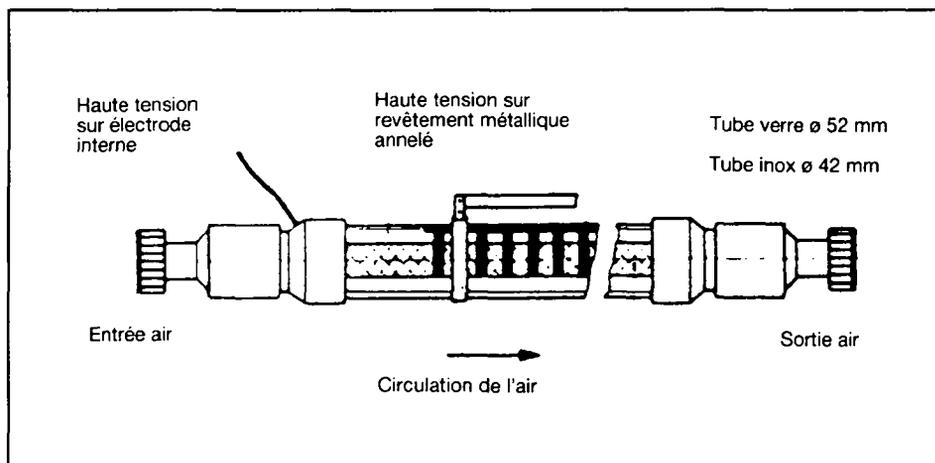
Outre l'entretien classique des équipements électriques, un nettoyage annuel des tubes est nécessaire pour conserver une bonne productivité; en cas de défaillance du dispositif de traitement de l'air, la fréquence des interventions doit être augmentée.

Chaque tube diélectrique doit être inspecté, puis nettoyé avec un chiffon doux et de l'acétone. La fragilité des tubes rend ces opérations délicates, longues et coûteuses : environ 1 à 10% de taux de remplacement par an. L'ouverture d'un ozoneur industriel et le nettoyage ou le remplacement des tubes nécessitent de 5 à 10 jours de main-d'œuvre.

AUTRES TYPES DE CELLULES

Il s'agit de variantes concernant les tubes diélectriques.

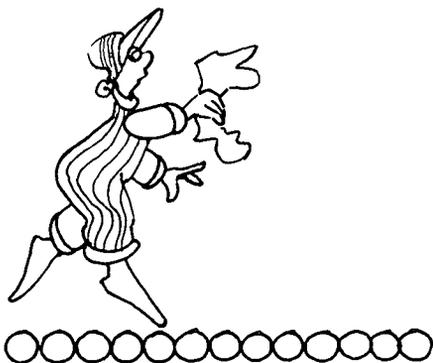
- Cellule Blatter : elle est constituée par un tube de verre diélectrique, à l'extérieur duquel est appliqué un revêtement métallique annelé mis sous Haute Tension, et un tube cylindrique interne en acier inoxydable; l'espace d'effluvation est l'espace annulaire de 3 mm entre le verre et le tube en acier. Le refroidissement est assuré par la circulation d'air à effluer et par une ventilation externe de l'ensemble des électrodes.



Electrode Blatter.

La tension de service est de l'ordre de 14.000 V et la puissance appliquée de 8 W/l/mn; la concentration d'ozone dans l'air après effluvation est faible ($< 5 \text{ g/Nm}_3$).

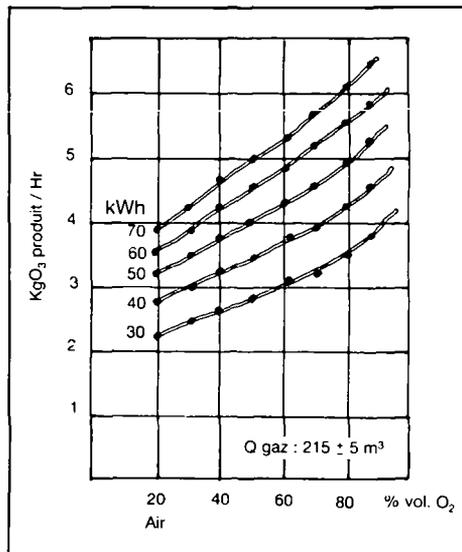
- Cellule Prosein : seul l'électrode de verre change; elle est en effet constituée d'une ampoule scellée contenant un mélange gazeux (3 gaz); c'est ce gaz interne qui est le support de la Haute Tension, éliminant la métallisation interne, diminuant ainsi le coût du diélectrique de manière sensible et permettant la réalisation d'un tube moins fragile (réduction des chocs thermiques lors de la fabrication).



VARIANTES

Il s'agit de variantes de fonctionnement destinées à augmenter la productivité d'un ozoneur donné.

● Oxygène : plus le taux d'oxygène du gaz entrant est important, plus la production spécifique d'une cellule est grande.



Production en fonction du taux d'O₂ dans l'air.

La production peut être multipliée par 2 à 2,5 lorsque l'on utilise l'oxygène pur ou, pour une même production, la consommation d'énergie sera deux fois plus faible (au niveau de l'ozoneur).

La mise en œuvre de cette technique se fait par :

● Stockage d'oxygène liquéfié sous pression (environ 15 bars) : après évaporation et détente, le gaz est injecté dans l'air à ozoner.

● Production d'oxygène *in situ* : adsorption-désorption par variation de pression ou cryogénie. L'exploitation de ces unités est délicate et cette production *in situ* ne peut se justifier que sur de très grosses installations.

● S'il n'est pas possible de disposer d'oxygène sur le site, une étape de séparation oxygène/azote après le traitement de l'air permet d'alimenter le générateur, qui est suivie d'une étape de séparation oxygène/ozone avec recyclage de l'oxygène; l'ozone est ensuite injecté dans un vecteur air ou azote.

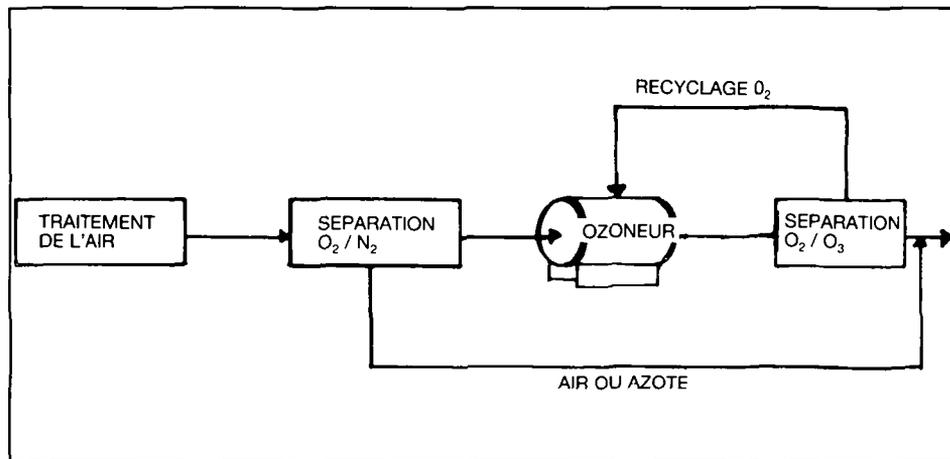
● Fréquence du courant électrique : l'alimentation en moyenne fréquence (600 Hz) permet de doubler la capacité d'un appareil. Pour de fortes quantités d'ozone à produire (supérieures à environ 7 kg/h), la taille des appareils (le nombre de diélectriques) peut être réduite, d'où un moindre entretien.

La moyenne fréquence est obtenue à partir d'onduleurs statiques (électronique de puissance) d'une bonne fiabilité; la production

d'ozone se fait par action directe sur le temps de conduction des thyristors qui équipent l'onduleur.

L'ozoneur fonctionne alors sous une tension de l'ordre de 12.000 V, au lieu de 20.000 V à 50 Hz.

● Refroidissement poussé des cellules d'ozonation : en utilisant un circuit fermé avec un groupe frigorifique (température de l'ordre de 4 °C).



Enrichissement à l'oxygène.



EN RESUME

Caractéristiques d'un appareil (données constructeur) selon ses équipements.

Ozoneur Degremont, type GLN 240 (240 tubes).

	Product. kgO ₃ /h	Concent. gO ₃ /m ³	Puissance kW	Consomm. Wh/gO ₃
Air/50 Hz	4,1	18	77	19
Air/600 Hz	9,1	18	182	20
Air/600 Hz/refr.	12	18	196	16
O ₂ /600 Hz/refr.	25,2	70	183	7,3

5



TRAITEMENT DE L'AIR

Le but de cette opération est l'obtention d'un air propre et sec avant effluation, pour ne pas pénaliser les performances et la fiabilité des ozoneurs.

Cette étape est très importante car de son efficacité dépendent la consommation énergétique de l'appareil et la fréquence des interventions de nettoyage ou de remplacement des tubes: en d'autres termes, elle conditionne directement le coût de l'ozonation.

L'humidité de l'air est définie par sa température de point de rosée. C'est la température à laquelle il faut refroidir un gaz pour qu'il soit saturé de vapeur d'eau (apparition de buée).

Teneurs d'eau dans l'air en g/m ³ aux différents points de rosée	
Point de rosée	g/m ³
+ 30	30,08
+ 20	17,15
+ 10	9,36
+ 5	6,79
0	4,87
- 5	3,24
- 10	2,16
- 15	1,38
- 20	0,88
- 25	0,55
- 30	0,33
- 35	0,20
- 40	0,12
- 45	0,08
- 50	0,04
- 55	0,02
- 60	0,01

Tableau de conversion d'unités usuelles

Le point de rosée (on omet souvent, par extension de langage, de préciser qu'il s'agit de la température de point de rosée) d'un air destiné à la préparation d'ozone doit être au maximum de - 40 °C et de préférence inférieur à - 50 °C.

Il existe deux types d'installations de dessiccation de l'air : directe sous pression ou en deux stades sous faible pression.

TRAITEMENT DE L'AIR SOUS PRESSION

L'air est filtré, puis est séché par passage sur un matériau adsorbant tel que l'alumine activée.

L'alumine activée est un matériau possédant une grande affinité pour l'eau qu'il adsorbe (retient) rapidement. De plus, l'adsorption est réversible et le matériau peut être régénéré lorsque le taux de capture choisi est atteint (5 à 7 grammes d'eau retenue pour 100 g d'alumine); au-delà, la qualité de l'air desséché devient moins bonne et la régénération du déshydratant plus difficile.

L'alumine est sous forme de billes d'un diamètre de l'ordre de 2 à 5 mm.

La durée de vie du matériau varie de 5 à 20 ans selon les précautions d'exploitation prises.

Le sécheur d'air comprend deux colonnes de séchage, l'une étant en régénération pendant que l'autre est en utilisation. La régénération des capacités d'adsorption de l'alumine activée se fait en détendant brusquement (chute de pression par mise à l'atmosphère) de l'air sec dans la colonne, ce qui provoque l'entraînement de l'humidité préalablement retenue; l'air utilisé provient de l'air traité sur l'autre colonne (5 à 20%). Ce principe de régénération impose des permutations rapprochées des colonnes (environ toutes les 2 à 5 mn), ce qui se fait automatiquement par un jeu d'électrovannes.

L'air est filtré avant séchage pour ne pas colmater les sécheurs. La filtration se fait en deux stades : pré-filtre à 5 μ m puis filtre à 0,5 μ m; le filtre est équipé d'un manomètre différentiel pour apprécier la perte de charge et procéder à son changement en temps utile.

La pression nécessaire est fournie par des compresseurs; les compresseurs les plus utilisés sont les compresseurs à anneaux liquides, pour obtenir un débit d'air constant même si les pertes de charge à l'aval varient.

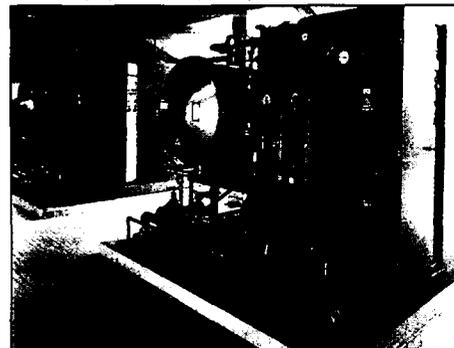
La pression de travail est en général de 7 bars; elle est abaissée à 0,5-0,8 bars après les sécheurs (la pression dépend en particulier de la hauteur des tours d'ozonation).

Les équipements complémentaires sont :

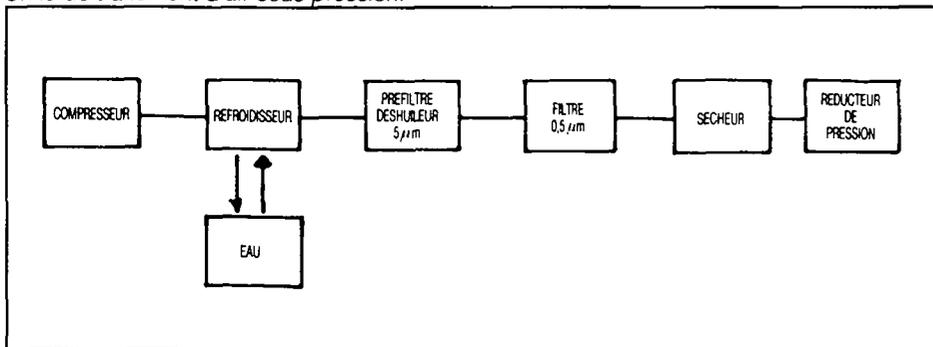
- un refroidisseur d'air à la sortie du compresseur pour abaisser la température de l'air, et provoquer la condensation d'une partie de son humidité; c'est un échangeur de chaleur air-eau;
- un dispositif de déshuilage de sécurité, en plus de ceux propres aux compresseurs; en effet, les traces d'huile éventuellement présentes risquent de saturer irréversiblement l'alumine activée et de provoquer des arcs dans les cellules d'ozonation. Ce sont des filtres spéciaux associés à des « cyclones » qui permettent cette séparation.

Le traitement de l'air sous forte pression est efficace et d'une maintenance assez simple; cependant, la dépense énergétique pour comprimer le gaz avant de le détendre est importante. Ce système est donc plutôt utilisé pour les petites et moyennes installations (jusqu'à 1 kg/h).

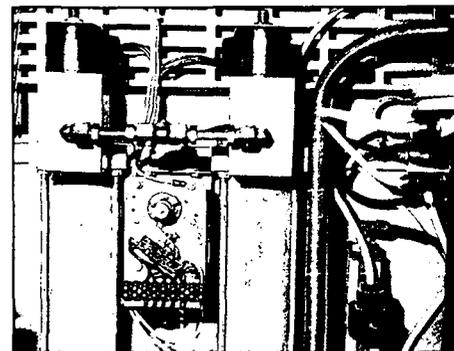
Traitement de l'air sous pression.



Unité de traitement d'air sous pression.



Sécheur.



TRAITEMENT DE L'AIR SOUS FAIBLE PRESSION

Lorsque les besoins en air sont importants, comprimer l'air serait d'un coût prohibitif; des surpresseurs sont alors utilisés (à lobes rotatifs par exemple), mais la pression disponible est inférieure à 1 bar.

Après la surpression, l'air est refroidi par un échangeur à eau jusqu'à température ambiante; l'air passe ensuite dans un groupe frigorifique où sa température s'abaisse à 4 °C. Une partie de l'humidité condense et se dépose en entraînant les poussières contenues dans l'air.

Le gaz est ensuite séché par passage sur de l'alumine activée. La mise en œuvre de l'adsorbant est différente : deux colonnes sont utilisées selon le cycle séchage-régénération, mais la longueur du cycle est plus importante (de l'ordre de 2 fois 8 heures généralement).

La régénération des sécheurs se fait par passage à contre-courant d'air chaud; selon les équipements, il s'agit d'air ambiant ou, plus rarement, d'air sec prélevé sur la production de l'autre colonne. L'air est réchauffé par une source externe à environ 150 °C; le balayage dure 1 à 2 heures. A l'issue de cette phase, le sécheur est refroidi par passage d'air sec et frais pendant 3 à 7 heures (respectivement en circuit fermé refroidi ou en circuit ouvert). Certains sécheurs sont équipés d'un dispositif interne de chauffage, mais une mauvaise répartition des températures peut amener une régénération aléatoire et une détérioration rapide du matériau adsorbant.

Les régénérations sont en général commandées par horloge, plutôt qu'en suivant l'évolution du point de rosée de l'air; en effet, la « crevaison » du sécheur pouvant être très rapide, une marge de sécurité est nécessaire.

Les opérations de maintenance sont plus délicates que précédemment, au niveau du groupe frigorifique en particulier qui demande des compétences spécifiques.

Le traitement de l'air consomme de 3 Wh/g d'ozone produit en équipement basse pression à 6 Wh/g en équipement haute pression, ce qui représente 10 à 20 % de la consommation globale du poste de production.

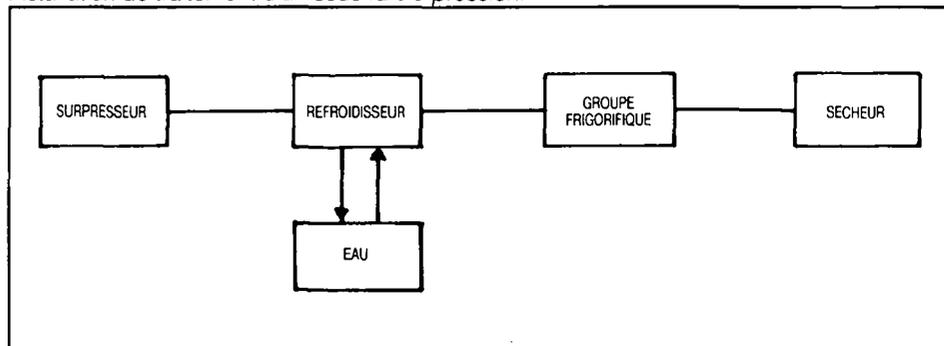
Traitement de l'air avec refroidissement.



Sécheur à régénération à air chaud.



Installation de traitement d'air sous faible pression.



6



MISE EN ŒUVRE DE L'OZONE

L'ozone est mis en œuvre dans des tours d'ozonation qui seront différentes selon l'étape du traitement : pré-, intermédiaire ou post-ozonation. En particulier, le temps de séjour de l'eau dans la colonne est un paramètre important :

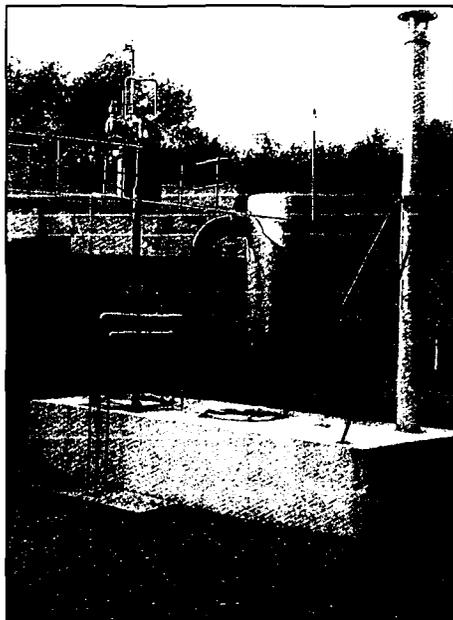
- pré-ozonation : un compartiment pour 2 mn (ou moins) de contact,
- ozonation intermédiaire : un compartiment pour 2 à 5 mn de contact,
- désinfection :
 - premier compartiment : 2 à 10 mn,
 - second compartiment : 4 mn,
 - éventuellement un troisième, voire un quatrième compartiment pour favoriser le dégazage de l'ozone résiduel : quelques minutes.

Le coût élevé de production de l'ozone impose que son utilisation soit la plus complète possible, et que le rendement du transfert vers l'eau à traiter soit important.

Le contact entre l'air ozoné et l'eau est le plus souvent assuré par dispersion de bulles de gaz dans l'eau.

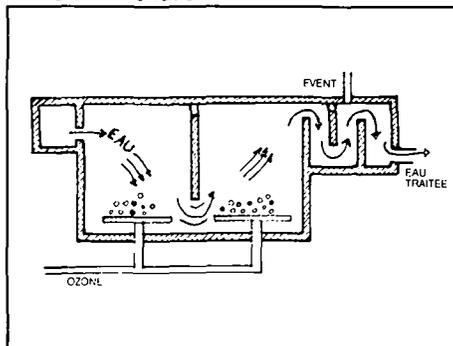
L'efficacité du transfert est fonction de différents facteurs :

- taille des bulles de gaz : le diamètre de bulle obtenu avec les dispositifs usuels de dispersion est de 2 à 5 mm, et peut être plus faible sous certaines conditions (plus la taille est faible et plus la surface d'échange bulle-eau est grande);
- pression d'application : la solubilité de l'ozone augmente lorsque la pression augmente; elle dépend de la hauteur d'eau au-dessus des diffuseurs, qui est comprise entre 4 et 7 m;
- température de l'eau : plus la température de l'eau est grande, plus le coefficient de partage est faible (concentration dans



Tour d'ozonation avec événements.

Tour d'ozonation.



l'eau par rapport à la concentration dans l'air); pour obtenir un même résiduel, il faut injecter plus de gaz ozoné;

- concentration de l'air ozoné : la solubilité de l'ozone dans l'eau augmente lorsque la concentration dans le gaz augmente;
- différence entre les concentrations dans l'eau et dans le gaz : le transfert de l'ozone est soumis à des règles d'équilibre et ne peut se faire que s'il existe une différence suffisante entre les deux phases, ce qui amène deux remarques :
 - plus le résiduel d'ozone dans l'eau voulu sera grand, plus le taux de traitement nécessaire sera grand (débit gazeux et concentration),
 - le contact eau-gaz se fait à contre-courant ou à co-courant; ce choix a une influence sur la qualité du transfert.

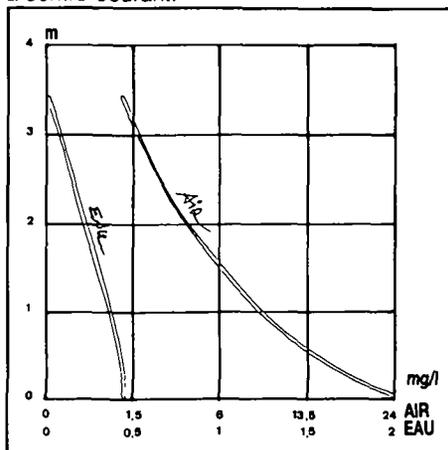
En conséquence, la désinfection est assurée à contre-courant dans le premier compartiment et à co-courant dans le second, puisqu'il s'agit alors de maintenir le résiduel.

Il n'est pas possible d'utiliser tout l'ozone disponible dans le gaz et une partie (5 à 10%) est perdue aux événements des tours d'ozonation; ce gaz appauvri en ozone (sa concentration est de l'ordre de 1 à 2 g/Nm³) peut être recyclé, rejeté ou détruit.

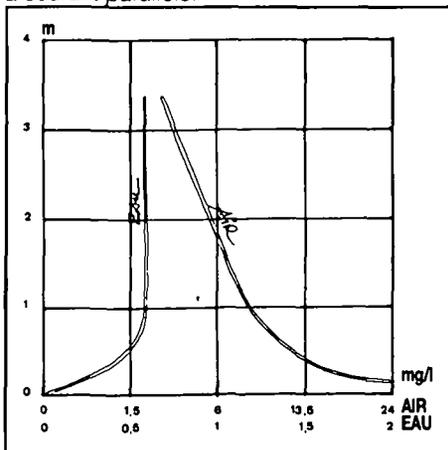


Disques poreux en fond de tour.

Transfert de l'ozone par bullage à contre-courant.



Transfert de l'ozone par bullage à courant parallèle.

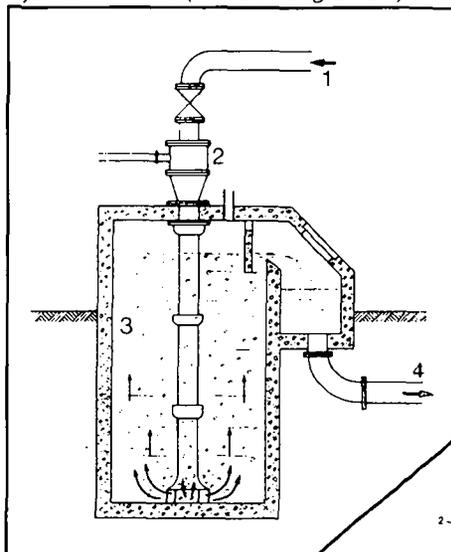


DISPERSION DU GAZ

Lorsque l'eau à traiter ne contient pas de matières en suspension, cette dispersion est assurée par des diffuseurs poreux en céramique, répartis sur le fond de la colonne de manière à éviter les zones mortes.

Lorsque l'eau est turbide, ou peut le devenir après traitement, ou lorsque le gaz est recyclé, d'autres dispositifs sont utilisés :

Injecteur d'ozone (Source : Degremont).



- 1 - Arrivée d'eau à désinfecter.
- 2 - Injecteur de mélange d'air ozoné.
- 3 - Tour de contact.
- 4 - Sortie d'eau désinfectée.

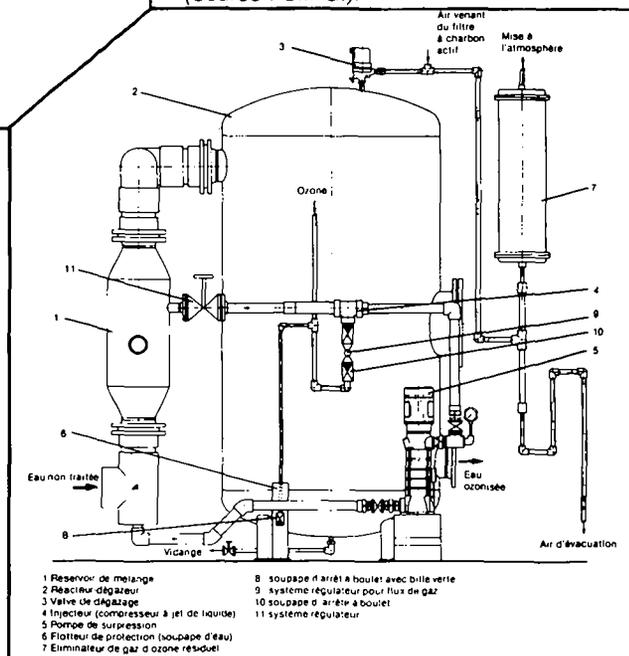
EMULSEURS (OU INJECTEURS)

L'eau à traiter passe dans un organe déprimogène, qui aspire l'air ozoné; un contact intime entre l'eau et l'ozone a lieu dans un tube de dissolution qui plonge dans la colonne d'ozonation. Le débit d'eau qui passe dans l'émulseur est tout ou partie du débit à traiter selon les conditions (importance et variations de ce débit).

Ce système présente de bons coefficients de transfert; de plus, il permet un recyclage d'ozone résiduel en tête à partir des évents de la tour de désinfection.

Par contre, il est sensible aux variations de débit et manque ainsi de souplesse d'utilisation. De plus, la perte de charge entraînée par le passage dans l'émulseur impose une pression suffisante de l'eau brute. La consommation d'énergie peut être estimée à environ 5 Wh par g d'ozone dispersé.

Injecteur d'ozone et tour de contact (Source : C.F.G.).



- 1 Réservoir de mélange
- 2 Réacteur dégazeur
- 3 Valve de réglage
- 4 Injecteur (compresseur à jet de liquide)
- 5 Pompe de surpression
- 6 Flotteur de protection (soupape d'eau)
- 7 Eliminateur de gaz d'ozone résiduel
- 8 soupape d'arrêt à boulet avec bille verte
- 9 système régulateur pour flux de gaz
- 10 soupape d'arrêt à boulet
- 11 système régulateur

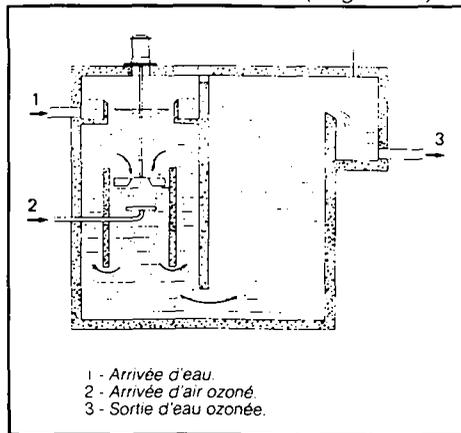
TURBINE SIMPLE

Turbines : deux types de turbines existent selon que le gaz est sous pression ou non.

Si le gaz est sous pression (air ozoné frais), la turbine doit pomper l'eau à traiter (à fort débit), cisailer les bulles d'air (moyennes) qui sont introduites sous les pales et assurer une émulsion fine de l'air ozoné.



Tour de contact avec turbine (Degrémont).



TURBINE ASPIRANTE

En cas de recyclage de l'ozone résiduel, le gaz n'a pas une pression suffisante et des turbines auto-aspirantes sont utilisées. La turbine aspire simultanément l'eau à traiter et l'air ozoné, assure le mélange et le rejette dans la tour de contact.

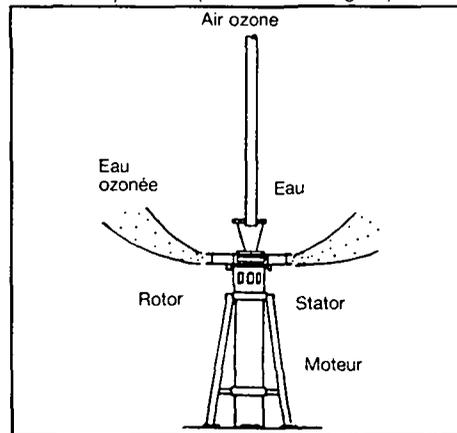
L'adéquation entre la turbine et les dimensions de la tour d'ozonation doit être recherchée; elle dépend de considérations hydrauliques comme le débit de pompage et le diamètre de dispersion de la turbine.

La consommation d'énergie du système est de l'ordre de 5 à 10 Wh par g d'ozone dispersé, dans des conditions normales de fonctionnement.

La maintenance nécessaire est celle de toute machine tournante de ce type.

Compresseur et poreux : pour recycler le gaz en utilisant des poreux ou lorsque l'on utilise un air enrichi en oxygène pour la génération de l'ozone, le gaz doit être recomprimé; cette opération nécessite l'emploi de matériels adéquats (compresseurs à anneaux liquides en acier inoxydable), dont l'entretien est délicat.

Turbine aspirante (Source : Trailigaz.)

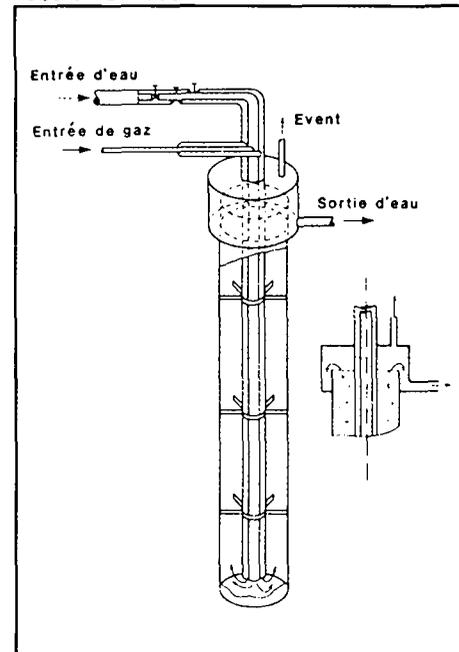


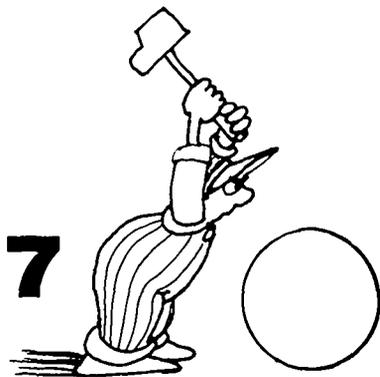
TUBE EN U INDUSTRIEL

Tube en U : il s'agit en fait d'un nouveau type de réacteur.

L'air ozoné et l'eau sont introduits au sommet de la partie centrale. Les turbulences créées par la vitesse atteinte provoquent l'apparition de fines bulles; ce phénomène, lié à l'élévation de la pression statique, assure un transfert efficace de l'ozone. L'eau et le gaz remontent ensuite jusqu'à la couronne d'évacuation.

Tube en U industriel.





DESTRUCTION DE L'OZONE RESIDUEL

Cette destruction d'ozone résiduel peut être nécessaire dans l'eau traitée ou dans l'air qui s'échappe des événements.

DESTRUCTION D'OZONE RESIDUEL DANS L'EAU

L'ozone est instable et disparaît rapidement; cependant, si le temps de séjour dans la citerne d'eau traitée est faible, l'eau peut contenir encore des traces d'ozone à la sortie. Si l'eau est distribuée ainsi, on constate parfois des phénomènes de corrosion chez les consommateurs les plus proches de l'usine.

Si l'eau subit une post-désinfection rémanente, l'ozone résiduel va réagir avec le chlore ou le dioxyde de chlore utilisé; le résiduel bactériostatique n'apparaîtra éventuellement que lorsque l'ozone aura disparu, ce qui implique un surdosage du réactif; de plus, des sous-produits indésirables peuvent apparaître lors de ces réactions, tels que des ions chlorate (ClO_3^-) avec le dioxyde de chlore.

L'élimination de l'ozone en excès se fait par réaction avec, au choix :

- Le bisulfite de sodium : $\text{NaHSO}_3 + \text{O}_3 = \text{NaHSO}_4 + \text{O}_2$. Il faut en pratique 3 g de bisulfite pour neutraliser 1 g d'ozone (2,2 g en théorie). Le bisulfite de sodium est dosé à partir d'une solution commerciale à environ 300 g/l de SO_2 , à l'aide de pompes doseuses.
- L'anhydride sulfureux : $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$. Il faut 1,3 g de SO_2 pour neutraliser 1 g d'ozone. L'anhydride sulfureux est disponible sous forme de gaz liquéfié et dosé par des sulfonateurs de sécurité à dépression.

NEUTRALISATION DE L'OZONE RESIDUEL AUX EVENTS

L'ozone résiduel non recyclé doit être éliminé, même si sa concentration est faible (Cf. chapitre sur la sécurité d'utilisation de O_3).

Sur les installations de petite taille, l'air ozoné est dilué à l'air extérieur, soit naturellement, soit à l'aide de ventilateurs.

Sur les installations plus importantes, il est nécessaire de détruire l'ozone.

- Destruction catalytique : l'air traverse une masse composée d'oxydes métalliques qui favorisent la disparition de l'ozone.

La filtration de l'air sur du charbon actif permet aussi l'élimination de l'ozone; elle coûte cependant 2 à 3 fois plus (recharges plus fréquentes).

- Destruction thermique : l'ozone est éliminé en portant la température du gaz à 300 °C environ pendant 3 à 4 secondes (destruction de 99% de l'ozone résiduel).

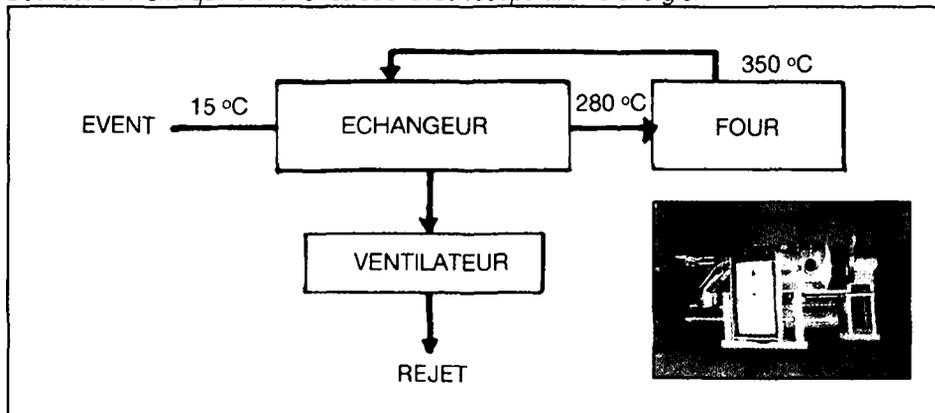
Des fours électriques sont utilisés; le gaz est préchauffé en récupérant une partie de la chaleur du gaz traité.

L'air est rejeté à une température comprise entre 90 et 110 °C.

Les matériaux utilisés doivent résister à l'action corrosive de l'ozone en milieu humide, d'autant plus que la température est élevée.

La consommation d'énergie est de l'ordre de 35 Wh/Nm³ de gaz.

Destruction thermique d'ozone résiduel avec récupération d'énergie.



8



SECURITE D'UTILISATION DE L'OZONE

SECURITE DES PERSONNELS

L'ozone est toxique pour l'organisme humain. Des concentrations maximales admissibles ont été définies sur les postes de travail :

- 0,1 ppm (0,2 mg/m³) pour une durée d'exposition de 8 heures;
- 0,3 ppm si le temps d'exposition ne dépasse pas 10 minutes.

Une concentration de 0,3 à 0,5 ppm entraîne des effets agressifs sur les voies respiratoires et la muqueuse oculaire. Une concentration de 0,2 ppm peut déjà provoquer une fatigue importante et une baisse de la vision nocturne. Une toxicité aiguë apparaît pour des taux de l'ordre de 100 ppm pendant quelques minutes.

Il importe donc que toutes précautions soient prises pour éviter une exposition prolongée des personnels à des doses trop fortes :

- détection et réparation immédiate des fuites,
- élimination de l'ozone résiduel aux événements des tours d'ozonation.



Equipement individuel d'intervention.

Masque de protection.



La limite de détection olfactive serait d'environ 0,05 ppm (0,1 mg/m³), mais elle est variable chez les individus.

Des dispositifs de contrôle de la teneur en ozone de l'air ambiant existent, en poste mobile (tubes Draeger) ou en poste fixe (analyseurs à électrolyte), pour la détection des fuites.

Lors des interventions en atmosphère viciée, la protection du personnel doit être appropriée :

- En cas de fuite légère, un masque à cartouche est en général suffisant pour des interventions ne dépassant pas 30 mn. Le masque doit être réalisé dans un matériau résistant à l'ozone (hypalon) et doit protéger également les yeux; la date de péremption de la cartouche doit être vérifiée avant chaque utilisation;
- Lorsque la teneur en ozone est importante (plus de 5 ppm : fuite ou accumulation), un poste de respiration autonome est nécessaire.

L'inspection, l'entretien ou le nettoyage périodique des tours d'ozonation doivent se faire avec le port du masque, même si cela est contraignant. En particulier, l'air ozoné est plus lourd que l'air ambiant et s'accumule dans les points bas; il y a lieu de bien ventiler les cuves avant d'intervenir.

En cas d'inhalation accidentelle, qui se traduira rapidement par une gêne respiratoire plus ou moins prononcée, il faut mettre immédiatement le sujet au repos avant de le transporter à l'hôpital.

La prévention des accidents passe par la sensibilisation périodique des personnels aux risques encourus et aux précautions à prendre.

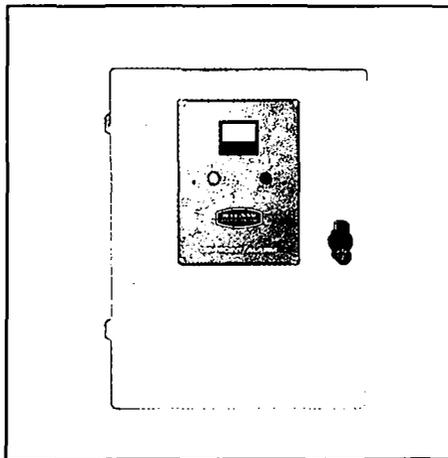
SECURITE DE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS

Cela concerne bien sûr les ozoneurs proprement dits, mais aussi les autres équipements de l'usine de traitement d'eau; s'il est en effet facile de se prémunir contre l'action corrosive de l'ozone lors de sa fabrication, l'ozone non détruit aux évènements et les fuites éventuelles risquent de provoquer des dégradations dans l'usine. Il conviendra donc d'optimiser les systèmes de destruction ou de dilution, de l'ozone résiduel (dans le cas de la dilution on reste cependant tributaire des conditions atmosphériques) et de colmater la moindre fuite.

Les matériaux qui résistent le mieux à l'ozone sont :

- L'acier inoxydable 316 L, qui résiste moins bien à l'attaque des acides : attention à l'acide nitrique qui peut apparaître dans les générateurs si l'air n'est pas sec;
- L'hypalon ou l'éthylène-propylène, pour la réalisation des joints d'étanchéité;
- Le béton, à condition que sa teneur en aluminate de calcium soit faible et que des précautions soient prises vis-à-vis des armatures;
- La céramique, pour la réalisation des poreux.

Analyseur de point de rosée.



Les risques de défaillance d'un ozoneur sont dus entre autres à :

- La présence d'air humide dans les cellules, soit à cause d'une mauvaise dessiccation, soit à cause d'un retour d'humidité provenant des tours d'ozonation;
- Le manque d'air ou le manque d'eau de refroidissement.

Pour diminuer ces risques, les appareils sont équipés des dispositifs suivants :

- Détecteurs de débit d'air sec et d'eau de refroidissement qui mettent automatiquement l'ozoneur hors tension en cas de débit insuffisant;
- Contrôle du point de rosée de l'air sec : sur les petites installations, un contrôle manuel est réalisé périodiquement; sur les plus grosses, des analyseurs mesurent le point de rosée en permanence et déclenchent des alarmes en cas de dépassement de la valeur de consigne;
- Une vanne automatique sur le circuit d'air ozoné isole le générateur lorsqu'il est à l'arrêt.

Les procédures d'utilisation de l'ozoneur doivent comporter :

- Un balayage à l'air sec pendant 15 mn avant mise en service pour éliminer les traces d'humidité éventuelles, et après arrêt de la production pour évacuer les dernières traces d'ozone;
- Un balayage à faible débit pendant les périodes d'arrêt momentané afin d'éviter des condensations à l'intérieur;
- Un balayage de longue durée (4 à 5 heures) lorsque l'appareil a été ouvert (maintenance) ou avant son ouverture.

Ces procédures sont impératives pour un bon fonctionnement de l'appareil.

9



ANNEXES

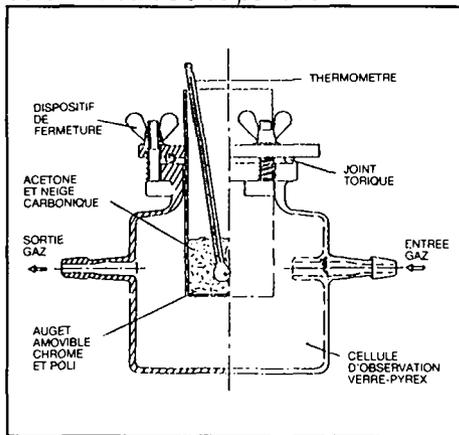
A. MESURE DU POINT DE ROSEE DE L'AIR

METHODE MANUELLE

MATERIEL NECESSAIRE

- Une cellule de mesure : c'est un flacon en verre équipé d'une entrée et d'une sortie d'air et d'un godet en acier chromé et poli sur sa face externe;

Cellule de contrôle de point de rosée.



- Un thermomètre gradué de + 30 à - 80 °C;
- Un rotamètre pour mesurer un débit d'air de 150 l/h;
- De l'acétone;
- Un appareil de préparation de neige carbonique, monté sur une bouteille de gaz carbonique (CO₂) à tube plongeur (ou une bouteille classique renversée) pour prélever du liquide.

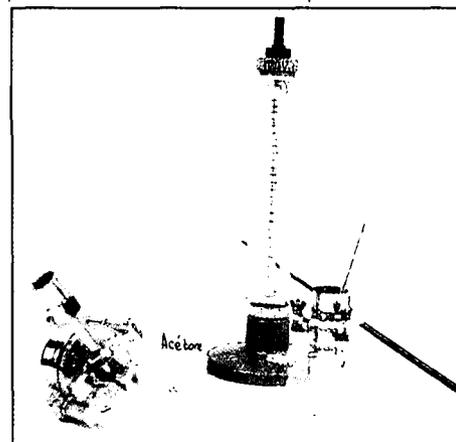
MODE OPERATOIRE

- Raccorder la cellule à un point de prélèvement d'air sec par un tuyau en plastique souple le plus court possible;
- Régler un débit d'air d'environ 150l/h;
- Bien purger l'ensemble;
- Introduire de l'acétone dans le godet jusqu'à recouvrir le bulbe du thermomètre;
- Puis introduire progressivement de la neige carbonique dans le godet en agitant.

Lorsque de la buée apparaît sur la face polie du godet (en contact avec l'air), la température lue sur le thermomètre est la température de point de rosée.

L'apparition de la buée n'est pas facile à détecter, ce qui peut conduire à des erreurs d'appréciation de l'ordre de 5 à 10 °C par « excès ». Un manipulateur non expérimenté devra refaire plusieurs fois la mesure afin de vérifier ses résultats.

Montage pour la mesure manuelle du point de rosée.



HYGROMETRES

Ces appareils permettent la mesure du point de rosée automatiquement, en continu ou pour des contrôles ponctuels.

Le fonctionnement du capteur est basé sur la variation des propriétés électriques d'un film d'oxyde d'aluminium en fonction de la teneur en vapeur d'eau. La sonde agit en fait comme un condensateur variable dont la capacité est ensuite mesurée par un circuit électronique.

La réponse des sondes est généralement linéaire en température de point de rosée.

Le temps de réponse des sondes aux variations d'humidité dépend du constructeur et des conditions de mise en œuvre :

- Sonde initialement sèche : 1 à 2 mn pour atteindre l'équilibre;
- Sonde initialement à l'air ambiant : 3 à 4 h pour indiquer un point de rosée à -70°C ;
- Sonde à l'équilibre avec un gaz sec : une diminution de 1 ppm à 0,5 ppm peut exiger jusqu'à 5 mn avant stabilisation.

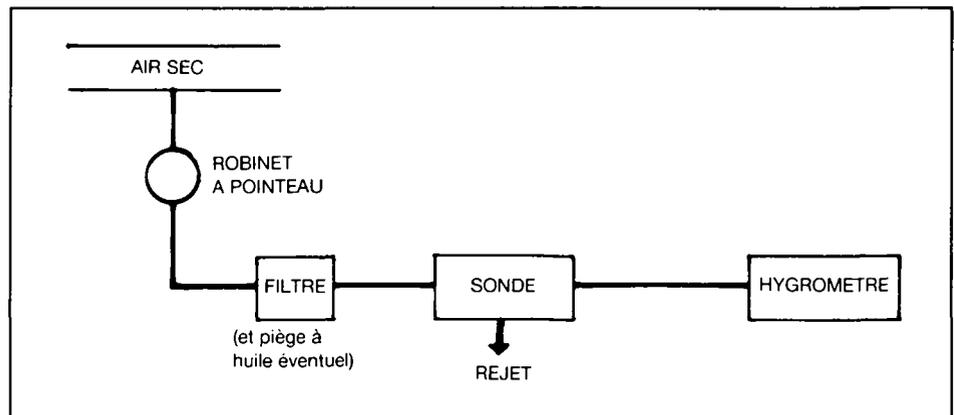
Le débit de gaz nécessaire est de 1 à 2 l/mn. Le diamètre des canalisations de liaison est de 1/8", pour minimiser le temps de réponse.

Si l'air contient des traces d'huile (mauvais fonctionnement du déshuileur), l'indication du capteur ne sera pas correcte et ses réactions seront lentes; la décontamination se fait par lavage du capteur à l'eau chaude, puis à l'acétone.

L'étalonnage de l'appareil se fait en utilisant la méthode manuelle de contrôle.

Des appareils portables du même type permettent de vérifier périodiquement l'efficacité des sècheurs plus facilement que par la méthode manuelle décrite précédemment, dans le cas où une surveillance continue ne s'impose pas.

La sonde est alors confinée dans une enceinte maintenue parfaitement sèche par un dessiccant, et n'est en contact avec du gaz que lors de la mesure, ce qui permet d'avoir des temps de réponse brefs.



Mesure en continu du point de rosée.

ANNEXES

B. MESURE DE LA CONCENTRATION EN OZONE

a. DANS L'AIR

METHODE MANUELLE

Cette méthode consiste à piéger l'ozone contenu dans un volume connu d'air ozoné par une solution neutre ou alcaline d'iodure de potassium. Après absorption de l'ozone, la solution est acidifiée et l'iode libéré est titré par du thiosulfate de sodium.

La précision de la méthode est directement liée au volume de gaz concerné : 2 litres pour l'air ozoné frais et 10 litres pour l'ozone résiduel.

L'analyse se déroule comme suit :

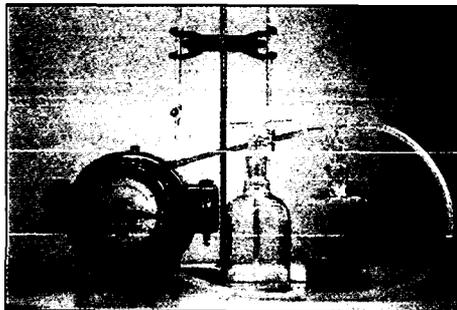
- Vérifier que le compteur à gaz est bien horizontal (niveau à bulle) et bien rempli d'eau (niveau latéral);
- Brancher le tuyau venant de la prise d'échantillon sur le flacon de purge contenant une solution d'iodure de potassium (KI) à 2% et régler le débit d'air ozoné en bulles à bulles;
- Brancher ensuite ce tuyau sur le flacon doseur contenant 200 ml d'une solution de KI à 2% et faire passer un volume suffisant de gaz, mesuré au compteur (soit V ce volume);
- Lorsque le volume est atteint, débrancher le flacon, rincer le tube plongeur à l'eau distillée pour récupérer tout l'iode formé et acidifier avec 10 ml environ d'acide sulfurique normal (1 N); la couleur de la solution est brun-rouge;
- Verser une solution décimale de thiosulfate de sodium (N/10) à l'aide d'une burette graduée, jusqu'à décoloration complète de la solution; soit v le volume de solution utilisée.

La concentration du gaz ozoné se calcule grâce à la formule suivante :

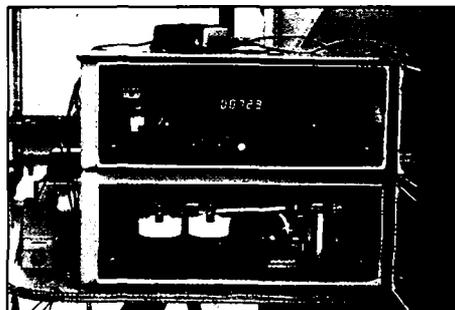
$$C = \frac{6,7 v (T + 273)}{VP}$$

où C est la concentration d'ozone dans l'air (en g d'O₃/N m³ d'air)
V est le volume de gaz (en litres)
v est le volume de la solution titrante (en millilitres)
T est la température du gaz (en °C)
P est la pression du gaz en [millimètres de mercure (Hg)]
(Pression atmosphérique normale = 760 mmHg)

Dosage de l'ozone dans l'air.



Analyseur en continu.



ANALYSEURS EN CONTINU

Il s'agit le plus souvent d'analyseurs spectrophotométriques, basés sur la mesure de l'absorption optique d'un rayonnement ultraviolet par l'ozone, à la longueur d'onde de 253,7 nm. Le débit de gaz dans la cellule de mesure est d'environ 1 l/mn.

Le gaz sous analyse étant propre, l'entretien est réduit.

L'ozone doit être détruit avant son rejet à l'atmosphère.

5. DANS L'EAU

METHODES MANUELLES

IODOMETRIE

L'ozone oxyde l'iode de potassium (KI) en iode, qui est ensuite dosé par une solution d'acide arsénieux.

MODE OPERATOIRE

● Mesurer 1 litre d'eau à analyser dans une éprouvette; ajouter quelques cristaux de KI (1 spatule) ou 10 ml d'une solution à 100 g/l de KI; la solution se colore en jaune;

● Ajouter ensuite de l'acide arsénieux N/177,5 à l'aide d'une burette; lorsque la couleur jaune a presque disparu, ajouter une pincée de thiodène ou d'empois d'amidon; la solution se colore en bleu;

● Continuer le dosage à l'acide jusqu'à décoloration complète; soit V le volume d'acide nécessaire (en ml);

concentration en mg d'ozone / l d'eau = $0,135 \times V$.

La solution d'acide arsénieux N/177,5 ne se conserve que 2 à 3 jours; il faut donc la préparer au moment de son utilisation à partir de solutions concentrées. Avant la dilution de la solution commerciale il convient de vérifier sa concentration par une analyse similaire à celle présentée ci-dessus, avec une solution titrée d'iode (N/10).

Cette analyse n'est pas spécifique de l'ozone; en particulier si l'eau contient également du chlore, le résultat reflète la teneur globale en oxydant.

Lorsque du chlore et de l'ozone sont présents simultanément, la mesure d'ozone se fait en deux étapes :

— Première analyse comme précédemment; soit V1 le volume d'acide nécessaire (en ml);

— Ajout de 0,2 g de glycine pour 1 litre d'eau (10 ml d'une solution à 20 mg/l de glycine) pour détruire l'ozone; dosage du deuxième échantillon; soit V2 le volume d'acide (en ml);

concentration en mg d'ozone/l = $0,135 \times (V1 - V2)$

concentration en mg de chlore/l = $0,2 \times V2$.

L'ajout de la glycine peut provoquer un abatement de la teneur en chlore (jusqu'à 20%).

Cette méthode est fiable, mais plutôt utilisée au laboratoire que sur le terrain.

DPD

(N,N-diéthylphénylène-1,4 diamine)

L'oxydation par l'ozone de la DPD, en présence d'iode de potassium, produit une coloration rouge dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ozone.

Des comparateurs colorimétriques permettent la mise en œuvre de l'analyse; le réactif est introduit sous forme de pastilles ou de gouttes dans un échantillon de volume connu (cuvettes graduées); la couleur obtenue est comparée à une échelle standard, qui donne directement la teneur en ozone (de 0,1 à 1 mg/l le plus souvent).

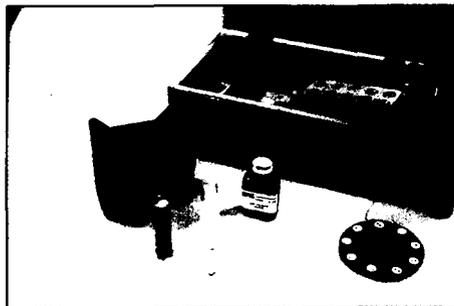
La couleur maximale est atteinte en 2 à 4 mn selon la température et reste stable environ 5 mn.

Cette méthode n'est pas spécifique de l'ozone; si du chlore est présent, l'analyse se fait en deux temps comme précédemment, avec les mêmes restrictions.

Attention de bien utiliser le réactif approprié (DPD + KI); en effet, la DPD seule est utilisée pour mesurer le chlore libre. Une dénomination souvent utilisée pour le réactif est DPD n° 4.

C'est la méthode de terrain la plus utilisée pour les contrôles de routine et le réglage des taux d'ozone. Elle ne nécessite qu'un savoir-faire limité et du matériel simple.

Comparateur colorimétrique.



ANALYSEURS EN CONTINU

Ils sont le plus souvent basés sur une mesure ampérométrique de la teneur en ozone.

L'eau à analyser passe entre deux électrodes réalisées avec des métaux spécialement choisis (élément galvanique). Si l'eau contient un oxydant, un courant apparaît entre les électrodes (on dit alors que l'oxydant crée une dépolarisation des électrodes); l'intensité de ce courant est proportionnelle à la teneur en oxydant.

Le choix du couple de métaux utilisés influence la spécificité de l'analyseur :

— Non spécifique de l'ozone : couple Cuivre/Or ou Platine;

— Spécifique de l'ozone : couple Nickel/Argent.

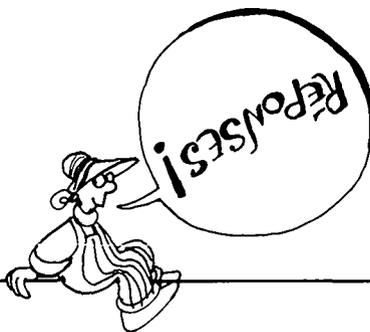
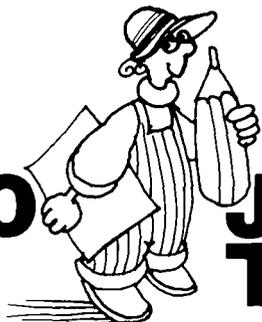
La surface active des électrodes est nettoyée en permanence pour éviter des dépôts qui perturberaient la mesure; les dispositifs de nettoyage utilisés sont des grains de sable ou de corindon, ou des billes de verre ou de plastique qui frottent sur le métal.

La durée de vie des électrodes est d'environ 1 an. Leur remplacement ne requiert pas de compétences spécifiques.

L'étalonnage des appareils (zéro et sensibilité) doit être contrôlé périodiquement (une fois par semaine) ou lorsque la température de l'eau change (écart supérieur à 10 °C). Le réglage doit être réalisé dans les mêmes conditions de conductivité que l'eau sous analyse, car ce paramètre influence sur la mesure.

Le filtre à CAG (Charbon Actif en Grains) est utilisé pour obtenir une eau exempte d'ozone lors du réglage du zéro de l'appareil.

10 JEU TEST



Exploitant d'une usine de traitement d'eau utilisant l'ozone lors de l'étape de désinfection, vous faites un bilan de fonctionnement de l'unité d'ozonation.

Les informations recueillies sont les suivantes :

- Débit d'eau à traiter : 500 m³/h;
- Débit d'air ozoné : 1^{re} colonne = 32 Nm³/h; 2^e colonne = 22 Nm³/h;
- Consommation électrique horaire totale : 22,7 kWh (y compris traitement de l'air sous pression).

Des essais et mesures complémentaires ont montré que la demande de cette eau en ozone pour satisfaire aux conditions de l'ozonation vraie est de 1 g/m³.

Vous mesurez la concentration en ozone de l'air ozoné frais et de l'air ozoné aux événements, par la méthode iodométrique classique :

- Conditions opératoires :
pression = 1 bar
température = 20 °C
thiosulfate de sodium N/10
volume d'air frais : 2 l
volume d'air ozoné aux événements : 10 l
- Résultats :
ozone frais : 10,8 ml de solution
ozone résiduel : 19,4 ml.

Que pensez-vous de ces résultats? Sont-ils satisfaisants? Si non, pourquoi?

Le taux de traitement réel de l'eau est donc de : $(14 - 5) - (32 + 22) / 500 = 1 \text{ g/m}^3 \text{ d'eau}$
En effet, le taux de traitement est le même puisqu'il est ajusté sur le site en fonction des résiduels mesurés.
Cependant, si tous les équipements fonctionnaient correctement, on aurait :
● Concentration de l'ozone résiduel : 2 g/Nm³;
● Concentration de l'air ozoné frais : 18 g/Nm³;
● Débits d'air : 1^{re} colonne = 19 Nm³/h; 2^e colonne = 13 Nm³/h;
● Consommation énergétique = 15 kWh $[32 \times 18 \times (20 + 6) \text{ Wh/g}]$, soit un gain horaire de 7,7 kWh.
En supposant que l'usine fonctionne 20 heures par jour, toute l'année, l'économie représente plus de 56 000 kWh.

1. La consommation d'énergie spécifique est de 22,7 kWh pour 500 m³/h, soit 45 Wh/m³ d'eau ou, puisque la consommation d'ozone est de 1 g/m³ d'eau, une consommation électrique de l'ozonateur de 45 Wh/g d'ozone produit, ce qui paraît exorbitant et pourrait être réduit en optimisant les performances de l'appareil.
2. La concentration des gaz ozonés (avant et après le contact) peut être calculée à partir des résultats d'analyses : une pression de 1 bar est peu différente de 760 mm de Hg.
● La formule de calcul devient dans chaque cas :
ozone frais : $C = 1,29 \times \text{Volume de solution} = 14 \text{ g/Nm}^3$
ozone résiduel : $C = 0,26 \times \text{Volume de solution} = 5 \text{ g/Nm}^3$
Deux constatations : la concentration de l'air ozoné frais est faible et la teneur en ozone des gaz d'événements est élevée; ce qui semble indiquer :
● Une mauvaise production due certainement à un encrassement de l'appareil; il faut contrôler le point de rosée et l'état de l'ozonateur (désinfecteur, sécheur, tubes); cette situation participe à l'augmentation de la consommation d'énergie (22,7 kWh pour produire 54 Nm³/h à 14 g/Nm³ représente 30 Wh/g d'ozone, soit, en considérant 6 Wh pour le traitement de l'air, 24 Wh/g pour l'ozonateur).
● Un mauvais transfert de l'ozone de l'air vers l'eau, dû à la faible concentration du gaz à l'entrée, mais peut-être aussi à un mauvais fonctionnement des pores (un poreux cassé donne des grosses bulles et le rendement de transfert chute).

11 LEXIQUE



AUTOTRANSFORMATEUR

C'est un transformateur ne possédant qu'un seul enroulement faisant office de primaire et de secondaire. Il peut être élévateur ou abaisseur de tension.

L'autotransformateur variable des ozoneurs permet l'alimentation du transformateur Haute Tension sous une tension variable de façon continue.

L'autotransformateur est de plus en plus remplacé par une inductance à saturation variable; cette nouvelle technologie permet de disposer d'une installation électrique simplifiée, d'un entretien réduit et d'une bonne fiabilité.

CATALYSEUR

C'est un composé qui est utilisé pour accélérer des réactions chimiques, sans qu'il prenne part directement à la réaction; le catalyseur n'est donc pas consommé au même titre que les autres réactifs et sa durée de vie est importante.

ONDULEUR

C'est un générateur de fréquence statique à thyristors, dont le principe consiste à redresser la fréquence du réseau triphasé, puis à établir une moyenne fréquence en agissant sur la commande des thyristors.

NORMES DE POTABILITE

D'un point de vue strictement microbiologique, une eau est potable vis-à-vis de la loi si elle respecte les contraintes suivantes :

1° L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 millilitres d'eau prélevée et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.

2° L'eau ne doit pas contenir de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux dans 100 millilitres d'eau prélevée. En outre, elle

ne doit pas contenir de coliformes totaux dans 100 millilitres d'eau prélevée, sous réserve qu'un nombre suffisant d'échantillons soit examiné (95% de résultats conformes).

3° L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de clostridium sulfito-réducteur par 20 millilitres d'eau prélevée.

4° Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 °C et après 24 heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée; à 22 °C et après 72 heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse doit être effectuée dans les 12 heures suivant le conditionnement.

REMANENCE

Ce terme caractérise la vitesse de disparition du désinfectant et par là son aptitude à protéger la qualité de l'eau pendant son transport en cas de contamination du réseau.

La « durée de vie » du désinfectant dépend de sa propre vitesse de disparition, de la dose initiale et des conditions locales de sa consommation (présences de matières organiques par exemple qui réagissent avec le produit). L'ozone disparaît très rapidement, alors que le chlore et le dioxyde de chlore ont une rémanence plus importante, permettant le maintien d'un résiduel de désinfectant non nul le long du réseau.

THM

Les THM (ou TriHaloMéthanes) sont des composés organo-chlorés produits par réaction du chlore sur certaines matières organiques (précurseurs de THM : acides humiques et fulviques...). Ces composés sont suspectés être cancérigènes.

Le principal représentant de ces THM est le chloroforme.

La teneur limite varie de 30 µg/l (directives C.E.E.) à 100 µg/l (normes U.S.A.).

12 INDEX

Alumine activée	22
Analyses	22
Concentration	32, 33
Défaillances	29
Désinfection	6, 7
Destruction	27
Diffusion	25
Electrodes	16
Fuites	28
Maintenance	19
Neutralisation	27
Oxygène	20
Ozone	16
Ozoneur	17
Point de rosée	21, 31
Pré-ozonation	8, 9
Rémanence	11, 12
Sécurité	28
Temps de contact	24
Tour d'ozonation	24
Traitement de l'air	22
Turbines	26



Challenger

1, Avenue Eugène Freyssinet
78064 Saint Quentin en Yvelines

Tél. : (1) 30.60.22.60

Télex : 689 292 SAUR F

Tlc. : (1) 30.60.27.89

SAUR, Société d'Aménagement Urbain et Rural, est un Groupe International de services aux collectivités.

SAUR a rejoint le Groupe Bouygues, n° 1 mondial du B.T.P., en 1984. Son Président est Martin Bouygues.

La recherche et le progrès, la créativité et l'enthousiasme, la responsabilité et le goût de réussir ont permis à SAUR de développer une longue tradition de Services Publics.

SAUR est présente partout en France (5 200 Communes desservies), en Europe par ses filiales britanniques et espagnoles, en Amérique du Nord par sa filiale Aquatech et sur le continent africain par l'intermédiaire de ses filiales SAUR Afrique et SODECI (Côte d'Ivoire).

SAUR conçoit, réalise et gère de nombreux types d'ouvrages (station de pompage et de traitement d'eau potable, stations d'épuration d'eaux usées, usines de valorisation de déchets).

SAUR apporte son savoir-faire dans le financement, l'organisation, le fonctionnement et la gestion des services publics.

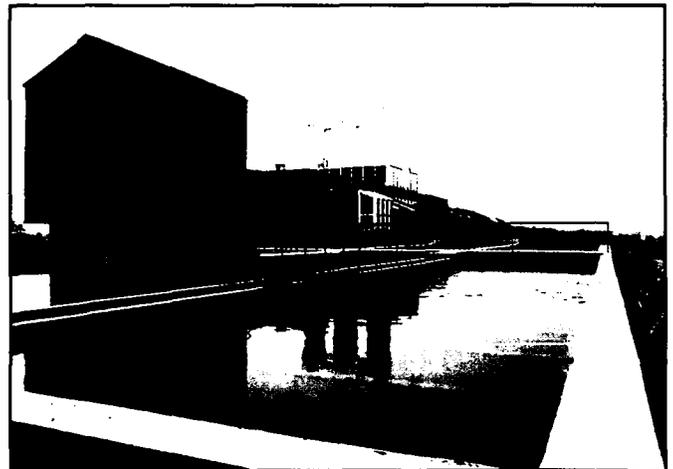
Dans le Monde 5000 collaborateurs réalisent un chiffre d'affaires de 3 Milliards de francs.

Eau

*Production, transport, stockage, distribution
et facturation aux abonnés d'eau potable
en service permanent et avec une qualité irréprochable.*

SAUR distribue chaque jour plus d'un million de m³ d'eau à 11 millions d'habitants. SAUR gère plus de 2 000 stations de pompage et de traitement d'eau potable et plus de 90 000 km de réseau de distribution.

En France, SAUR dessert 1 500 000 abonnés, soit 5 millions d'habitants sur 5 200 Communes.



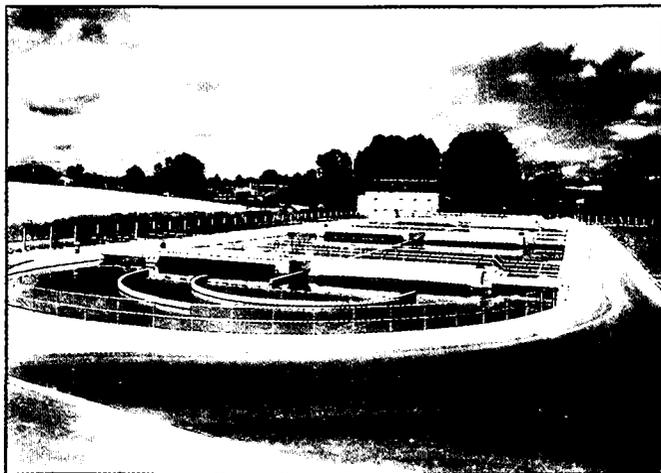
Assainissement

*Collecte, épuration et rejet des eaux usées
dans le milieu naturel.*

SAUR traite les eaux usées de 1 200 000 usagers.

SAUR gère 2 000 stations de relevage et d'épuration et 6 000 km de réseaux d'assainissement.

SAUR participe ainsi à la protection de l'environnement et des réserves d'eau, enjeu essentiel de cette fin de siècle.

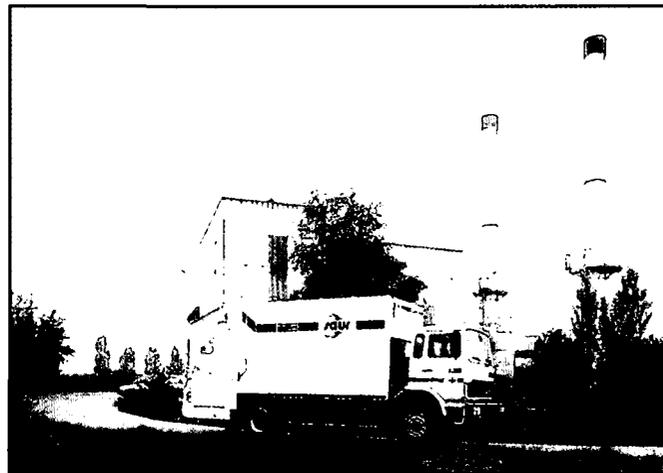


Déchets

*Collecte, traitement et valorisation
des déchets urbains.*

SAUR collecte les ordures ménagères de 600 000 habitants et traite 250 000 t d'ordures ménagères.

SAUR développe des techniques modernes et non polluantes de stockage et de traitement (broyage, compostage, incinération, etc. ...)



SERIE BLEUE	SERIE VERTE	Nos	TITRES	DISPONIBLES AUPRES DE	PRIX
<p>1 LES POMPES CENTRIFUGES Entretien et maintenance.</p> <p>2 Techniques et méthodes de RECHERCHE ET DETECTION DES FUITES dans les réseaux d'adduction d'eau.</p> <p>3 L'utilisation des REACTIFS DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE et le contrôle de leur mise en œuvre.</p> <p>4 Utilisation et entretien des INSTRUMENTS DE MESURE dans le contrôle de la qualité des eaux.</p> <p>5 La distribution de l'eau potable : LE COMPTAGE.</p> <p>6 LA ROBINETTERIE Choix - Mise en œuvre - Entretien.</p> <p>7 RESEAUX D'ASSAINISSEMENT Conception - Réception - Entretien - Réhabilitation.</p> <p>8 Eaux usées urbaines : NITRIFICATION DENITRIFICATION DEPHOSPHATATION : Contraintes d'exploitation.</p>	<p>9 L'OZONATION DES EAUX Principe, exploitation et maintenance des installations.</p> <p>A PARAITRE :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● TELEGESTION des réseaux. ● POMPES à motricité humaine ● CHLORATION. 	2	Techniques et économie de l'épuration des eaux résiduaires (1979)	Centre de Documentation de l'eau 14, boulevard du Général-Leclerc 92524 Neuilly-sur-Seine Cedex	Gratuit
		3	Elimination des déchets des ménages (1979)	ANRED 2, square Lafayette - B.P. 406 49004 Angers Cedex	15 F
		5	Assainissement individuel (1981)	AFB	25 F
		6	La décharge contrôlée de résidus urbains (1981)	ANRED ou Mission administrative	20 F
		7	La valorisation agricole des boues de stations d'épuration (1982)	ANRED	20 F
		8	Guide pour l'élimination et la valorisation des déchets industriels (1984)	ANRED ou Mission administrative	50 F
		12	L'analyse et la caractérisation des déchets industriels (1984)	ANRED ou Mission administrative	40 F
		13	La collecte sélective des ordures ménagères (1984)	ANRED ou Mission administrative	50 F
		14	L'entretien des cours d'eau (1984)	AFB ou Mission administrative	50 F
		15	Les odeurs et les nuisances olfactives (1984)	CITEPA ou Mission administrative 3, rue Henri-Heine, 75016 Paris Tél. 45.27.12.88	50 F
		16	L'élevage porcin et l'environnement (1984)	CITEPA	30 F
		17	Modes de traitement des matières de vidange domestique (1985)	ANRED	40 F
		18	Traitements de surface : dépollution à la source (1985)	AFB (Loire-Bretagne)	70 F
		19	Système de gestion du service d'élimination des déchets des ménages (1986)	ANRED	...
		20	Traitement de surface : méthodes d'analyse des effluents aqueux	CETIM - Service de diffusion 52, rue Félix-Louat, 60304 Senlis Tél. 44.58.32.66	70 F
21	Les techniques propres dans l'industrie	ADIFE 14, boulevard du Général-Leclerc 92524 Neuilly-sur-Seine	180 F		

Les numéros 1 et 4, épuisés, sont en consultation au Centre de Documentation des Déchets

9 L'OZONATION DES EAUX
Principe,
Exploitation
et maintenance des installations.

Edité par : **SEDA**, B.P. 1516, 87021 Limoges Cedex.
Tél. 55.38.48.48.

Réalisé avec le concours de :
Gilles NEVEU, Fondation de l'Eau.
Jean-Claude CHAZELON, Communication Graphisme, Limoges.