

W. J. MASSCHELEIN

coordonnateur

OZONE ET OZONATION DES EAUX


**Comité
Européen**

l'association
**TEC
&
DOC**

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	III
Adresses utiles	XII
- I - GÉNÉRATION INDUSTRIELLE DE L'OZONE	
1 - Historique - M. GOLDMAN	3
<i>Introduction</i> □ <i>Nature des espèces intermédiaires (oxygène activé)</i> □ <i>Origine des espèces intermédiaires</i> □ <i>Mécanismes de destruction de l'ozone ou limitant sa formation</i> □ <i>Modélisations</i> □ <i>Caractères généraux et spécificité des décharges utilisées pour la production d'ozone</i>	
2 - Aspects thermodynamiques de la génération industrielle de l'ozone - W.J. MASSCHELEIN	10
<i>Principes de base</i> □ <i>Décharge corona</i> □ <i>Méthodes alternatives de synthèse de l'ozone</i> □ <i>Aspects pratiques du recyclage des gaz effluents dans des systèmes de génération</i>	
3 - Alimentation en énergie électrique des ozoneurs - R. MOSTIN	21
<i>Généralités</i> □ <i>Equipements fonctionnant à la fréquence industrielle</i> □ <i>Equipement fonctionnant à moyenne fréquence</i> □ <i>Dispositifs de sécurité</i>	
4 - Systèmes de mesure de débit des gaz applicables à l'ozonation des eaux - R. MOSTIN	25
<i>Conditions de référence</i> □ <i>Appareils de mesure utilisés</i>	
Principe de mesure et formule de correction des principaux types d'appareils	
<i>Débitmètre à orifice calibré déprimogène (venturi, diaphragme, ...)</i> □ <i>Rotamètres</i> □ <i>Débitmètre à effet VORTEX</i> □ <i>Débitmètre à turbine</i> □ <i>Débitmètre ou compteur volumétrique</i>	
5 - Spécifications et contrôle des performances d'un générateur d'ozone - R. GERVAL	35
<i>Présence d'humidité</i> □ <i>Présence de poussières</i> □ <i>Pression motrice à l'entrée de l'ozoneur</i> □ <i>Température du gaz à l'entrée de l'ozoneur</i> □ <i>Débit d'air</i> □ <i>Spécifications technologiques</i> □ <i>Le circuit d'eau de refroidissement</i> □ <i>Le générateur d'ozone</i>	

6 - Systèmes de génération	39
A. Technologie des générateurs d'ozone "Trailligaz" - R. CHAPSAL	39
B. Les générateurs d'ozone Degrémont - C. COSTE et J.M. BENAS	43
<i>Conception générale</i> □ <i>L'alimentation électrique</i> □ <i>Les différents types de générateurs</i>	
C. Nouveaux ozoneurs de construction compacte - D. BLANKENFELD	45
D. Les générateurs d'ozone Sorbios - E. FRANKE	47
E. L'ozoneur Litha - W.J. MASSCHELEIN	48
F. Installations d'ozonation, utilisation de l'oxygène - F. GAIA et H.P. KLEIN.	49
<i>Introduction</i> □ <i>L'oxygène en tant que gaz d'alimentation</i> □ <i>Alimentation en oxygène</i> □ <i>Exemples d'installations d'ozone utilisant de l'oxygène</i> □ <i>Conclusion</i>	
G. Technologie Degrémont pour la recirculation de l'oxygène dans les ozoneurs - C. COSTE et J.M. BENAS	53
H. Production d'ozone par électrolyse Membrel : procédé pour le traitement d'eau de haute pureté - B. STEINLIN	56
- II - PRINCIPES FONDAMENTAUX ET APPLICATION DE L'OZONATION	
1 - Aspects théoriques du transfert d'ozone dans l'eau - M. ROUSTAN, E. BRODARD, J.P. DUGUET et J. MALLEVIALLE	59
<i>Absorption physique</i> □ <i>Absorption avec réaction chimique</i> □ <i>Hydrodynamique</i> □ <i>Conclusion</i>	
2 - La solubilité de l'ozone dans l'eau - W.J. MASSCHELEIN et R. GOOSENS.	64
<i>Définitions</i> □ <i>Influence de la température</i> □ <i>Les constantes de Henry-Dalton</i>	
3 - Mécanismes et cinétiques des réactions de l'ozone et des composés dissous - J. HOIGNE.	68
<i>La réaction directe de l'ozone avec des matières dissoutes</i> □ <i>Oxydations par des produits secondaires formés</i> □ <i>Coopération entre les deux voies d'oxydation</i>	
4 - Décomposition de l'ozone dissous - W.J. MASSCHELEIN	73
5 - L'action de l'ozone sur des matières humiques - D. MAIER	75
<i>Introduction</i> □ <i>Recommandations</i>	
6 - Inactivation des micro-organismes de l'eau par l'ozone - J.C. BLOCK	77
<i>Les paramètres d'environnement</i> □ <i>Les micro-organismes</i> □ <i>Conclusion</i>	
7 - L'effet de l'ozone sur l'élimination des algues par filtration - J. AEPPLI et H. GROS	80
<i>Résultats des essais sur une station pilote</i> □ <i>Usine de traitement d'eau de lac (Lengg)</i>	
8 - Amélioration de la coagulation par l'ozone - Y. RICHARD et J.P. DUGUET	86
9 - Action de l'ozone sur les composés azotés moléculaires - A. LAPLANCHE et G. MARTIN	88
<i>Produits naturels</i> □ <i>Produits de synthèse</i> □ <i>Les composés formés et les réactions observées</i> □ <i>Cinétiques de réaction</i> □ <i>Les schémas réactionnels</i> □ <i>Conclusion</i>	

10 - Effets de l'ozone sur les goûts et les odeurs - J. MALLEVIALLE, C. ANSELME et I.H. SUFFET	99
<i>Introduction</i> □ <i>Elimination de la géosmine et du methyl-isobornéol (MIB)</i> □ <i>Cas de l'usine de Morsang/Seine</i> □ <i>Conclusion</i>	
11 - L'action de l'ozone gazeux en dispersion - W.J. MASSCHELEIN et R. GOOSSENS	104
<i>Formulation d'un modèle</i> □ <i>Conclusion</i>	
12 - Intérêts des bilans "matière" pour la conception et l'exploitation des contacteurs à bulles en ascension libre - M. ROUSTAN, E. BRODARD, J.P. DUGUET et J. MALLEVIALLE	108
<i>Procédure expérimentale</i> □ <i>Ecriture des équations du bilan</i> □ <i>Résultats expérimentaux</i> □ <i>Conclusion</i>	
13 - L'ozone et la formation des trihalométhanes - M. DORE	114
<i>Nature des précurseurs de trihalométhanes</i> □ <i>Rôle de l'ozonation sur la production des trihalométhanes</i> □ <i>Conclusion</i>	
14 - Produits de réaction identifiés au cours de l'ozonation - J. MALLEVIALLE et J.P. DUGUET	121
15 - Critères de conception d'une cuve d'ozonation - N. MARTIN et M.M. BOURBIGOT	152
<i>Notion de distribution de temps de séjour</i> □ <i>Exemple d'écoulement dans une cuve d'ozonation</i> □ <i>Optimisation des performances d'une cuve d'ozonation</i>	
16 - Un nouveau type de réacteur pour la dissolution de l'ozone, le tube en U - C. COSTE et J.M. BENAS	159
- III - PRATIQUE DE L'OZONATION	
1 - Possibilité des systèmes experts pour le calcul et l'optimisation des installations d'ozonation - O. WABLE et E. BRODARD	165
<i>Introduction</i> □ <i>Programmation</i> □ <i>Description du programme</i> □ <i>Conclusion</i>	
2 - L'importance du réacteur de contact ozone-eau - M. BREDTMANN	169
3 - Les colonnes de contact ou la dispersion des bulles - W.J. MASSCHELEIN	172
4 - Matériaux résistant à la corrosion et à la dégradation au contact de l'ozone - F. DAMEZ	174
5 - Protection contre la corrosion en cas d'utilisation d'ozone - G.E. KURZMANN	177
<i>Introduction</i> □ <i>Dégât à des systèmes épais et minces de revêtement</i> □ <i>Systèmes de revêtement</i> □ <i>Revêtements intérieurs</i>	
6 - Sécurités pour la prévention des incidents sur les équipements - F. DAMEZ	181
<i>Préparation de l'air</i> □ <i>Ozoneurs</i> □ <i>Equipements de diffusion</i> □ <i>Automatisation</i>	

MÉTHODES ANALYTIQUES POUR L'OZONE

1 - Méthodes pour le dosage de l'ozone dans des mélanges concentrés de gaz - D. MAIER	185
<i>Introduction</i> □ <i>Dosage titrimétrique d'après la méthode au KJ</i> □ <i>Dosage photométrique d'après UV</i> □ <i>Dosage calorimétrique par la mesure de l'enthalpie</i>	
2 - Méthode de détermination de l'ozone dans les gaz à l'évent - L. BRENER	189
<i>Méthode spectrophotométrique</i> □ <i>Méthode calorimétrique</i> □ <i>Méthode par chimiluminescence</i>	
3 - Surveillance des hautes concentrations en ozone dans l'air - J. VALENTA	191
<i>Méthode d'absorption par UV</i> □ <i>Méthode calorifique ou méthode enthalpique</i> □ <i>Méthode par chimiluminescence</i>	
4 - Détermination de l'ozone dans les lieux de travail et dans l'air ambiant - F. DAMEZ	194
<i>Méthode de référence</i> □ <i>Méthode manuelle de contrôle</i> □ <i>Méthodes en continu</i>	
5 - Le contrôle opérationnel de l'ozone dissous - W.J. MASSCHELEIN	196
6 - Principes d'automatisation d'une ozonation - J. AUDIBERT	198
<i>Quels sont les critères d'une "bonne" automatisation ?</i> □ <i>Critère de l'automatisation d'un poste d'ozonation</i> □ <i>Mode de réalisation de l'automatisation</i>	
7 - Méthode de dosage de l'ozone en solution aqueuse basée sur la décoloration des dérivés de l'indigo - H. BADER et J. HOIGNE	201
<i>Mode opératoire</i> □ <i>Procédé pour des concentrations d'ozone supérieures à 0,1 mg/l</i> □ <i>Procédé pour des concentrations d'ozone inférieures à 0,1 mg/l</i> □ <i>Procédé pour des échantillons contenant du chlore</i> □ <i>Procédé pour des échantillons contenant des ions de manganèse</i> □ <i>Procédé pour les échantillons d'eau trouble</i> □ <i>Distributeurs d'indigo-trisulfonate de potassium</i>	
8 - Détermination de l'ozone résiduel dans l'eau par l'ACVK - W.J. MASSCHELEIN	206
<i>Réactif ACVK</i> □ <i>Solution d'ozone dans l'eau</i> □ <i>Standardisation des solutions d'ozone</i> □ <i>Procédure de mesure de l'ozone</i>	
9 - Détermination de l'ozone résiduel dans l'eau - F. PHILIPPS et J.L. HAMON,	208
<i>Introduction</i> □ <i>Précautions à prendre lors des prélèvements et des analyses</i> □ <i>Méthodes d'analyses manuelles</i> □ <i>Méthodes automatiques en continu</i>	
10 - Instruments pour la détermination opérationnelle de l'ozone	212
A. Analyseur d'ozone résiduel Degrémont type Ozonmat - J.M. BENAS ..	212
<i>Application</i> □ <i>Principe de mesure</i> □ <i>Convertisseurs de mesure</i> □ <i>Performances</i>	
B. Détermination et affichage en continu des teneurs en ozone, bioxyde de chlore, chloramines, chlore potentiel, libre et actif d'une eau - A. DERREUMAUX et M. LAMBERT	214
<i>Principe de fonctionnement</i> □ <i>Applications</i> □ <i>Description du matériel</i> □ <i>Caractéristiques techniques</i>	
C. Sorbios ozocontrol - E. FRANKE	217
D. Méthode électrochimique pour la mesure en continu de l'ozone résiduel - W.J. MASSCHELEIN	217

- V - QUESTIONS CRITIQUES DE L'OZONATION	
1 - Toxicité de l'ozone - F. ERB	223
<i>L'ozone dans le traitement des eaux</i> □ <i>Conclusion</i>	
2 - Risques professionnels associés à l'ozone - F. VAN HOOFF	226
3 - Equipements de protection en cas d'intervention - M. RAPINAT	228
4 - Destruction de l'ozone dans l'air à l'évent - P. CHAPSAL	230
5 - Destruction de l'ozone en excès - M. COSTE et J.M. BENAS	235
<i>Procédés de destruction</i>	
6 - Destruction de l'ozone résiduel dans l'air après l'application de l'ozone - M. HORST	239
<i>La destruction thermique</i> □ <i>La destruction par charbon actif</i> □ <i>La destruction catalytique</i> □ <i>Comparaison du coût d'exploitation de deux exemples différents</i>	
7 - Equipement de destruction de l'ozone dans l'air à l'évent - Ph. LAFORGE et W.J. MASSCHELEIN	243
<i>Introduction</i> □ <i>Destruction thermique</i> □ <i>Possibilités alternatives</i> □ <i>Conclusion</i>	
8 - Stabilisation bactérienne d'une eau ozonée - H. LAMBLIN et M.M. BOURBIGOT	249
<i>Cas des eaux contenant de l'azote ammoniacal</i> □ <i>Cas des eaux chargées en matières organiques</i> □ <i>Cas des eaux chargées en fer, manganèse et matières organiques</i> □ <i>Protection d'un réseau d'eau ozonée vis-à-vis des germes</i>	
9 - Quelques aspects de la prolifération bactérienne dans les eaux ozonisées - G. FRANSOLET	255
- VI - ASPECTS ÉCONOMIQUES DE L'OZONATION	
1 - Caractéristiques du coût de l'ozonation - M. CONAN et J.M. BENAS	263
<i>Paramètres pris en compte</i>	
2 - Conditions économiques de l'utilisation de gaz enrichis en oxygène - W.J. MASSCHELEIN	267
3 - Coût de l'ozonation - P. SCHULHOF et F. DAMEZ	269
<i>Introduction</i> □ <i>Coûts d'investissement</i> □ <i>Coûts d'exploitation</i> □ <i>Conclusion</i>	
- VII - DÉVELOPPEMENTS DANS L'UTILISATION DE L'OZONE	
1 - Utilisation de l'ozone dans les bassins de natation - J.Y. PERROT et B. LANGLAIS	277
2 - L'activation de l'ozone par H ₂ O ₂ et les UV - M. DORE	280
<i>Les procédés d'activation de l'ozone</i> □ <i>Possibilités et limites des procédés</i> □ <i>En conclusion</i>	

3 - Combinaison ozone/peroxyde d'hydrogène pour la décontamination d'une eau fortement polluée par des effluents industriels - J.P. DUGUET ...	286
<i>Introduction</i> □ <i>Matériel et méthodes</i> □ <i>Résultats</i>	
4 - Utilisations potentielles de l'ozone dans l'industrie papetière - F.A. ABADIE-MAUMERT.....	290
5 - L'ozonation des eaux embouteillées - W. SCHNEIDER.....	292
6 - Utilisation de l'eau de mer ozonée pour améliorer la conservation des produits conchylicoles - F.A. ABADIE-MAUMERT et P. CHAPSAL.....	295
7 - Désodorisation des stations d'épuration au moyen d'ozone - H. PAILLARD et B. LANGLAIS.....	299
<i>Collecte des mauvaises odeurs et ventilation des locaux</i> □ <i>Les traitements de désodorisation mettant en œuvre l'ozone</i> □ <i>Mise en œuvre du procédé d'ozonation par voie humide</i>	
8 - Ozone et épuration biologique des eaux usées urbaines - G. MARTIN, A. LAPLANCHE, A. COLLIGNON et B. LANGLAIS.....	305
<i>Ozonation en bioépuration secondaire</i> □ <i>Ozonation en aval du bioépurationnaire secondaire</i> □ <i>Emploi de l'ozonation dans le traitement des boues</i>	
9 - L'ozoflottation procédé d'élimination des algues - M. FAIVRE et B. LANGLAIS	310
<i>Description du procédé</i> □ <i>Résultats obtenus sur un pilote semi-industriel</i> □ <i>Usines françaises utilisant le procédé d'ozoflottation</i>	

- VIII - FILIÈRES D'OZONATION

1 - Questionnaires, guides de conception d'une installation d'ozonation - W.J. MASSCHELEIN	317
<i>Éléments généraux</i> □ <i>Préparation des gaz utilisés dans la génération de l'ozone</i> □ <i>Génération d'ozone par décharge électrique</i> □ <i>Mise en contact de l'ozone avec l'eau</i>	
2 - L'ozone à Nice depuis 1907 - G. VAJENTE.....	324
3 - Utilisation de l'ozone pour le traitement de l'eau du lac de Constance - D. MAIER	326
<i>Informations complémentaires concernant la gestion technique de l'installation présentée</i> □ <i>En cas d'accident avec du pétrole ou d'autres produits chimiques</i>	
4 - Filière de l'ozonation à l'usine de Tailfer - W.J. MASSCHELEIN	329
5 - L'ozone à la station de Crissey (Chalon-sur-Saône) élimination du fer et du manganèse et réduction de l'ammoniaque - Y. RICHARD et M. CONAN. .	331
6 - L'alimentation en eau potable de la ville de Florence (Italie) station d'Anconella - L'ozone en affinage et désinfection - Y. RICHARD et M. CONAN	333
7 - L'ozone à la station de Morsang, élimination de la micropollution par action conjuguée de l'ozone et du charbon actif granulé - Y. RICHARD ..	335

8 - L'ozone à la station de Louveciennes : élimination de l'ammoniaque en présence de fer et manganèse - Y. RICHARD et M. CONAN	338
9 - L'ozonation à l'usine de Méry-sur-Oise - M. CAILLIBOTTE	340
<i>La préozonation □ L'ozonation □ La postozonation</i>	
10 - L'ozone dans le traitement d'eau souterraine à Rouen-la-Chapelle - G. DAVID	344
11 - L'ozone à l'usine de traitement d'eau d'Annet-sur-Marne - A. TIRET	347
12 - Ozonation à l'usine de l'île-au-Bourg à Angers - J. de FRESCHVILLE et H. GODART	349
13 - L'ozone à Rennes - H. GODART	350
14 - L'usine de traitement de Mauboule à Valence - R. FARGIER	352
15 - Les installations pour l'ozonation à Marseille - J.P. LESBROS	354
<i>Description des installations</i>	
16 - Mise en œuvre de l'ozone pour le traitement d'eau à Zurich - M. SCHALEKAMP	360
17 - L'ozonation et la floculation-filtration dans le traitement biologique d'eau potable (l'usine d'Essen) - U. REICHERTER	363
18 - Système d'ozonation des eaux du lac Weesperkapsel à Amsterdam - E.A.M. VAN SOEST	365
19 - Le tube en U d'ozonation dans la nouvelle usine de traitement d'eau du Pecq-Minor - E. BRODARD, J.P. DUGUET, J. MALLEVIALLE et M. ROUSTAN	368
<i>La nouvelle usine du Pecq-Minor □ Le tube en U d'ozonation</i>	
20 - Intérêt de la préozonation dans la filière de l'usine du Mont-Valérien - Y. Richard et M. CONAN	370
21 - Triozonation à Saint-Coulitz - H. GODART	372
<i>Les problèmes □ La réponse "triozonation" □ Les résultats</i>	
22 - Ozonation pour la protection de l'eau souterraine à la compagnie des eaux de la ville de Karlsruhe - G. NAGEL	375
23 - L'usine de traitement de Dohne à Mülheim-Ruhr : "le procédé Mülheim" - M.R. JEKEL	379
Index	381