

TRAITEMENT DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE DESINFECTION



LE RISQUE A COURT TERME

Correspond au risque microbiologique.

C'est un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau.

DIFFERENTS MICRO-ORGANISMES RESPONSABLES DE MALADIES HYDRIQUES

Groupes d'organismes	Maladies	Origine	Concentration nécessaire
Bactéries :			
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde	Matières fécales humaines	10 ⁶
Salmonella paratyphi	Fièvre paratyphoïde	Matières fécales humaines	10 ⁶
Autres salmonelles	Salmonellose	Matières fécales humaines et animales	10 ⁶
Shigella	Dysenterie bacillaire	Matières fécales humaines	10 ⁶
Vibrio cholera	Choléra	Matières fécales humaines	10 ⁶
Enteropathogène E. coli	Gastro-entérite	Matières fécales humaines	10 ⁶
Yersinia enterocolitica	Gastro-entérite	Matières fécales humaines et animales	10 ⁶
Campylobacter fetus	Gastro-entérite	Matières fécales humaines et animales?	10 ⁶
Legionella pneumophila	Légionellose	Eaux thermales enrichies	?
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculose	Système respiratoire humain	?
Mycobactérie	Maladies pulmonaires	Soils et eaux	?
Bactérie opportuniste	Variable	Eaux naturelles	?
Virus entériques :			
Polio	Poliomyélite	Matières fécales humaines	?
Coxsackie A	Méningite aseptique	Matières fécales humaines	?
Coxsackie B	Méningite aseptique	Matières fécales humaines	?
Echovirus	AHC encéphale	Matières fécales humaines	?
Autres enterovirus	UR bénin, maladie GI	Matières fécales humaines et animales	10 ⁶
Reovirus	Gastro-entérite	Matières fécales humaines	?
Rotavirus	UR bénin, maladie GI	Matières fécales humaines	?
Adenovirus	Hépatite infectieuse	Matières fécales humaines	?
Hépatite A	Gastro-entérite	Matières fécales humaines	?
Virus gastro-intestinaux			10 ⁶
Protozoaires :			
Acanthamoeba castellanii	Méningite amibienne	Soils et eaux	?
Balantidium coli	Dysenterie	Matières fécales humaines	?
Entamoeba histolytica	Méningite amibienne	Matières fécales humaines	?
Giardia lamblia	Giardiose	Matières fécales humaines et animales	?
Naegleria fowleri	Amibes primaires	Soils et eaux	?
Helminthes :			
Nématodes :			
Ascaris lumbricoïdes	Ascariasis	Matières fécales humaines et animales	10 ⁵
Trichuria Trichlura	Trichuria	Matières fécales humaines	10 ⁵
Enterobius vermicularis	Ver	Matières fécales humaines	?
Ankylostomes :			
Ancylostoma duodenale	Ankylostomes	Matières fécales humaines	?
Necator americanus	Ankylostomes	Matières fécales humaines	?
Strongyloides stercoralis	Nématodes	Matières fécales humaines et animales	?
Cestodes :			
Taenia saginata	Ténia	Matières fécales humaines	?
Taenia solium	Ténia	Matières fécales humaines	?
Hymenolepis nana	Gastro-entérite	Matières fécales humaines et rongeurs	10 - 10 ²
Algues :			
Microcystis aeruginosa	Gastro-entérite	Eaux naturelles	?
Anebaena flos-aqua			?
Aphanozomenon flos-aqua			?
Parasites :			
Cryptosporidium	Cryptosporidium	Matières fécales humaines et animales - eau	?
			?

Les agents pathogènes possèdent diverses propriétés qui les distinguent des polluants chimiques :

- Ils ne sont pas en solution comme les produits chimiques mais se présentent sous forme de particules séparées.
- Ils sont souvent agglomérés sur des matières en suspension de sorte que le risque de contracter une infection ne dépend pas de leur concentration moyenne dans l'eau.
- La probabilité qu'un pathogène réussisse à s'implanter dans l'organisme et provoque une infection dépend de son invasivité et de sa virulence et aussi de l'immunité de l'individu.
- S'il y a infection, la pathogénie se multiplie dans l'organisme hôte et peut ensuite contribuer à l'expansion de l'épidémie par contact : contact direct, contamination des aliments. Certains pathogènes peuvent se multiplier dans les aliments ou les boissons, ce qui augmente les risques de contamination.

Du fait de ces propriétés, on ne peut établir une limite inférieure tolérable pour les pathogènes. L'eau destinée à la consommation, à la préparation des aliments ou à l'hygiène personnelle ne doit contenir aucun agent pathogène pour l'homme.

PRINCIPE DES INDICATEURS DE CONTAMINATION FECALE

Traceur des pathogènes

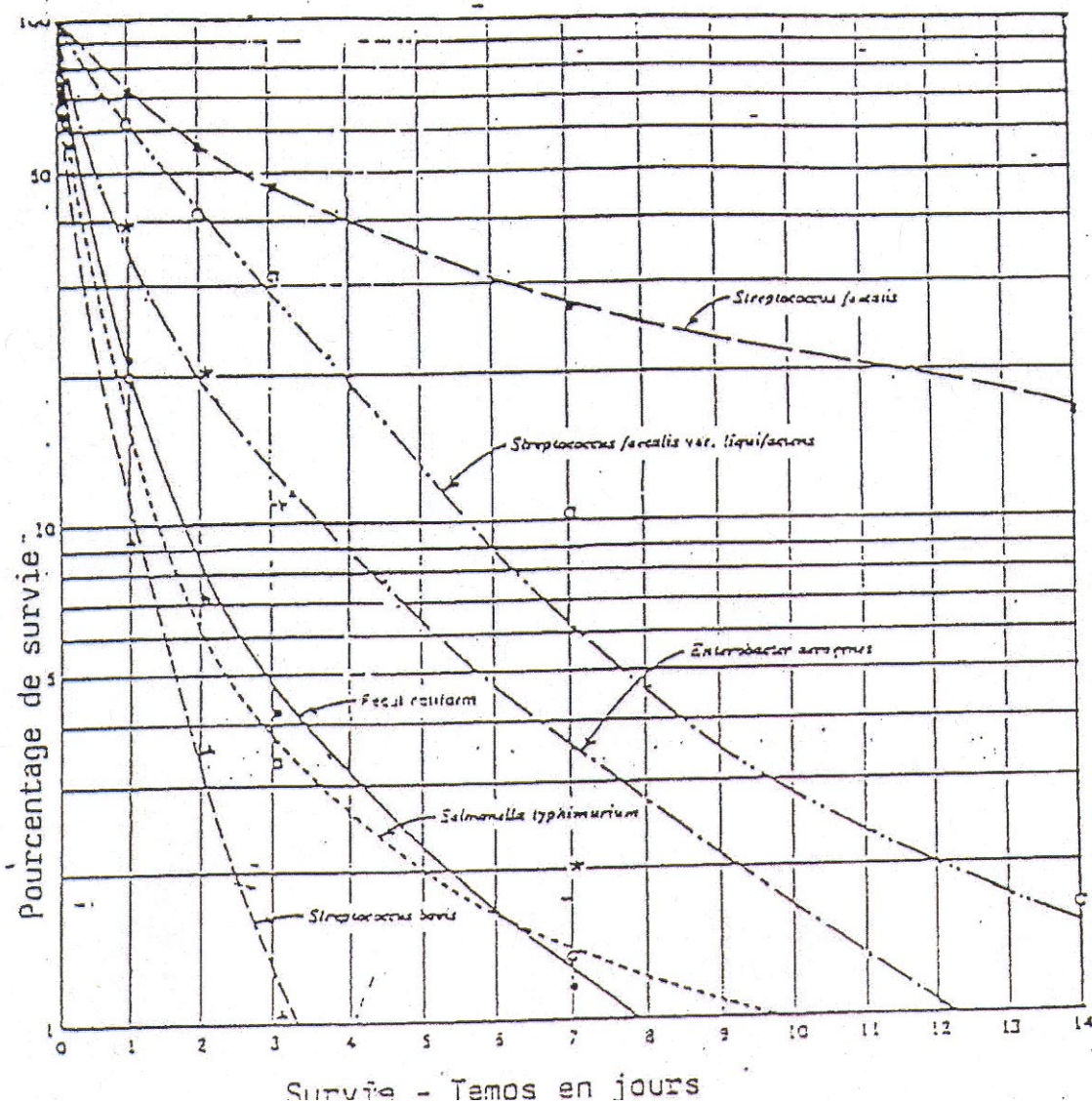
Donc doivent :

- être de bons témoins :
 - de survie
 - de traitement
- être spécifiques
- être facilement détectables

PROBLEMES

- Sont-ils extrapolables à toutes les eaux ?
- Sont-ils extrapolables à tous les pathogènes : bactéries, virus, parasites ?
- Sont-ils extrapolables à toutes les maladies hydriques ?

PERSISTANCE DE DIVERSES BACTERIES ENTERIQUES DANS DE L'EAU DE RIVIERE STERILISEE A 20°C



LA DESINFECTION

La désinfection de l'eau a été utilisée il y a plus de 2000 ans.

500 ans avant J.C., la coutume était de faire bouillir l'eau avant son utilisation.

Mais, c'est en 1980 que l'on a pu connaître la théorie des épidémies hydriques dues à des bactéries et que l'on a utilisé des bactéricides dans les traitements de désinfection.

A cette époque, on pensait que l'odeur était à l'origine des épidémies. C'est la raison pour laquelle on essayait de réduire l'odeur des eaux usées afin de réduire les épidémies.

Cette hypothèse fautive a cependant fait évoluer d'une façon très importante les traitements de désinfection de l'eau.

La première utilisation en continu du chlore en eau potable a été faite en Belgique à Middelkerke en 1902 ($\text{Ca}(\text{HClO})_2$) et à Ostende en 1903 (chlore gazeux).

Dès 1986, on avait utilisé l'hypochlorite de sodium pendant un laps de temps très court pour réduire les épidémies de typhoïde (Australie 1896 – Angleterre 1897).

DESINFECTION

- Rétention de germes

- Destruction chimique ou physique des germes

DESINFECTION

- Procédés physiques

- Procédés chimiques

EFFICACITE DES TRAITEMENTS DE DESINFECTION

L'efficacité de la désinfection dépend :

- de la concentration des organismes à détruire
- de la forme sous laquelle se trouve ces organismes (libre, kyste, spore)
- du mode de désinfection utilisé : physique ou chimique
- du temps de contact
- des caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter : pH, température, turbidité, minéralisation, teneur en ammonium

PROCEDES PHYSIQUES

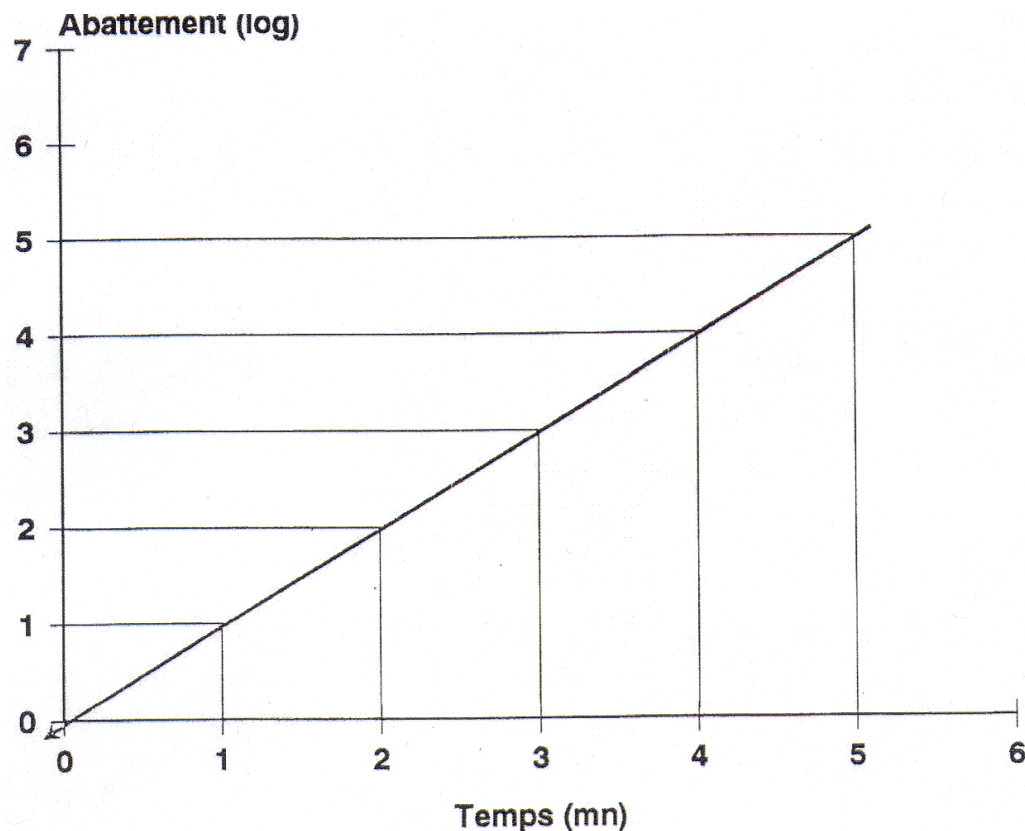
- Effets thermiques (ébullition)
- Filtration lente
- Rayonnements UV ou irradiations
- Traitements membranaires

DESINFECTION PHYSIQUE PAR LA CHALEUR

2000 ans avant J.C., on savait déjà que l'ébullition permettait d'éviter qu'une eau rende malade.

Actuellement, seule la législation belge propose cette méthode et précise qu'il faut 15 mn d'ébullition pour une garantie bactériologique.

Des études montrent qu'on obtient, à la température d'ébullition de l'eau à 100°C, un abattement de 1 log par minute.



FILTRATION LENTE DE L'EAU

Le premier traitement industriel permettant la réduction des épidémies de choléra et de fièvre typhoïde a été la filtration lente de l'eau.

Des études anglaises ont mis en évidence l'efficacité de ce mode de traitement même sur l'élimination des virus de l'eau.

L'ONU a préconisé ce mode de traitement dans le tiers monde pour la décennie de l'eau.

FACTEURS INFLUENCANT L'ELIMINATION DES BACTERIES ET DES VIRUS

- Vitesse de filtration
- Epaisseur du sable
- Température de l'eau
- Maturation du filtre

POURCENTAGES DE REDUCTION EN VIRUS ET BACTERIES POUR 1974 (moyenne par trimestre)

1974	Echelle de température (°C)	Filtre N°	Débit m/d	Pourcentages de réduction					
				Pollovirus 1	Bactériophage	E.coll	Col. totaux	Colonies à 37°C	Colonies à 22°C
Janv.	5-8	1	12	98.25	99.75	94.5	96.3	81.2	95.4
Mars		2 Contrôle	4.8	99.68	99.99	>94.6	97.6	84.8	98.4
Avr.	9-18	1	12	99.88	99.98	>94.3	97.3	88.0	94.5
Juin		2 Contrôle	4.8	99.98	99.99	>94.3	>99.5	92.3	93.5
Juill.	18-16	1	9.6	99.865	99.975	>90.5	>99.5	92.5	-
Sept.		2 Contrôle	4.8	99.997	99.996	>88.0	>99.5	91.3	-
Oct.	16-9	1	9.6	99.63	99.95	95.7	99.0	91.0	-
Déc.		2 Contrôle	4.8	99.95	99.99	>98.6	>99.5	93.7	-

➤ AVANTAGES DE CE TRAITEMENT

- Simplicité de construction (pouvant être réalisée avec des matériaux locaux)
- Coûts des filtres assez bons
- Importation faible de matériel
- Peu de maintenance spécialisée
- Pas de lavage à contre-courant
- La seule énergie nécessaire est l'énergie de pompage d'eau ou l'énergie solaire
- On peut admettre des fluctuations de turbidité si un bon prétraitement (dégrossissage, préfiltration) est effectif
- On ne perd pas d'eau pour le lavage des filtres en retour (10 %)
- Il n'y a pas de problème de boues

➤ DESAVANTAGES DE CE TRAITEMENT

- L'entretien des filtres demande une main d'œuvre très importante, mais non spécialisée
- Les surfaces de filtration sont très importantes, mais ceci n'est pas un obstacle pour les pays en voie de développement

PERFORMANCES DE LA FILTRATION LENTE

Paramètre	Purification obtenue
Matière organique	La filtration lente produit un effluent limpide, supposé sans matière organique.
Bactéries	Entre 99 et 99,99 % des bactéries pathogènes peuvent être éliminées. Kystes, œufs, larves sont éliminés dans le même rapport. E. coli est réduit à 99-99,9 %.
Virus	Dans un état de maturation du filtre, les virus sont supposés complètement éliminés (99,99 %).
Couleur	La couleur est réduite significativement.
Turbidité	Les turbidités des eaux brutes de 100-200 NTU peuvent être tolérées pendant quelques jours ; une turbidité de plus de 50 NTU est acceptable seulement quelques semaines. La turbidité de l'eau brute doit être de préférence inférieure à 10 NTU. L'effluent sortant doit avoir une turbidité inférieure à 1 NTU.

RAYONNEMENTS UV - IRRADIATION

L'effet bactéricide des radiations solaires a été signalé dès 1827.

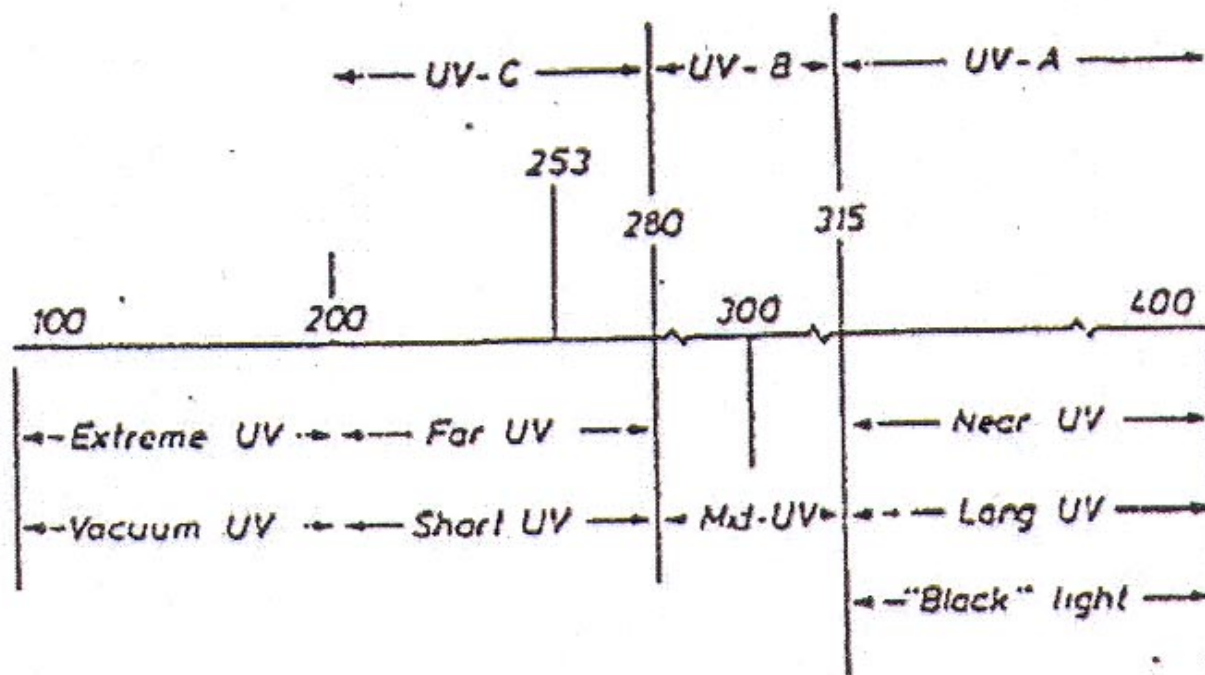
Le meilleur effet bactéricide est obtenu pour des longueurs d'onde comprises entre 250 et 260 nm.

A 220 nm, on peut avoir production d'ozone en présence d'oxygène.

Les lampes UV immergées peuvent produire des radicaux hydroxyl ou peroxy qui ont un effet bactéricide.

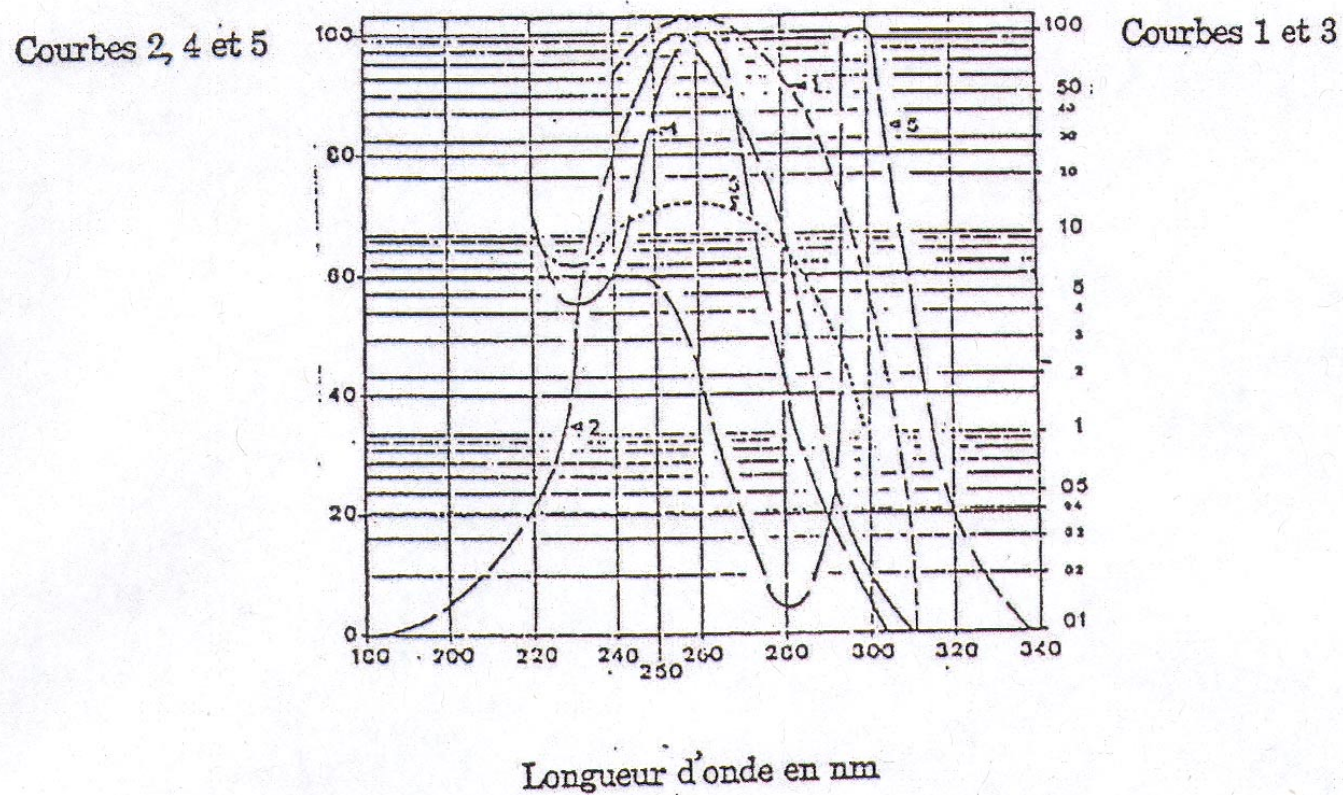
Les sels de fer catalysent ces réactions.

SPECTRE UV



SPECTRES UV TYPIQUES

1. Emission d'une lampe à mercure
2. Action germicide relative
3. Absorption d'ADN
4. Spectre spécifique pour les conjonctivites
5. Spectre spécifique pour les érythèmes



PARAMETRES INFLUENCANT LES PERFORMANCES DES RAYONNEMENTS UV

L'efficacité de la désinfection peut être perturbée par :

- la présence de matières organiques (absorption UV, inhibition des réactions radicalaires)
- les aminoacides
- l'épaisseur d'eau à traiter
- l'usure de la lampe
- la dose UV émise, donc par la puissance de la lampe
- le type de radiation émise

Les bactéries super-résistantes aux UV n'existent pas. Seule la dose intervient.

On sait aussi que les micro-organismes exposés à des radiations UV peuvent réparer eux-mêmes, sous certaines conditions, les dégâts occasionnés.

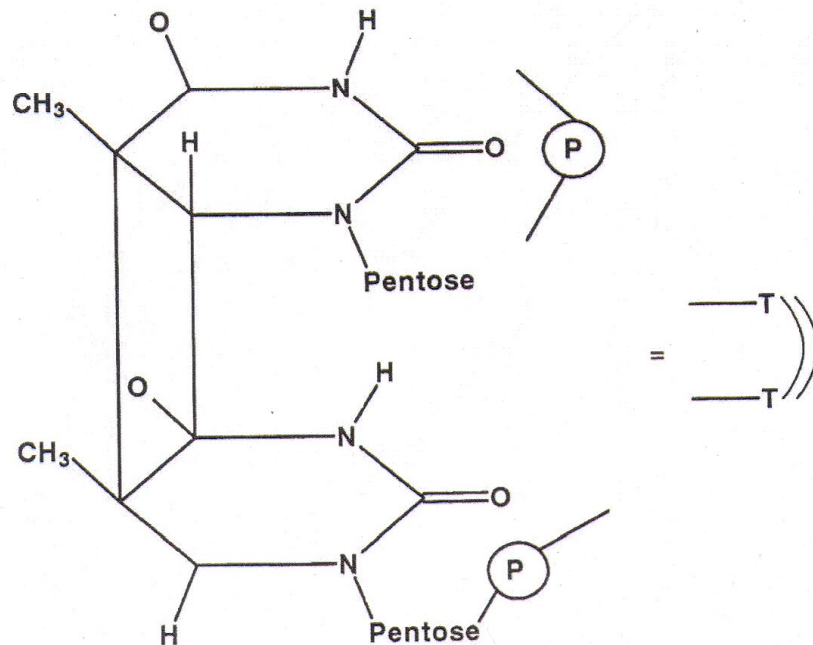
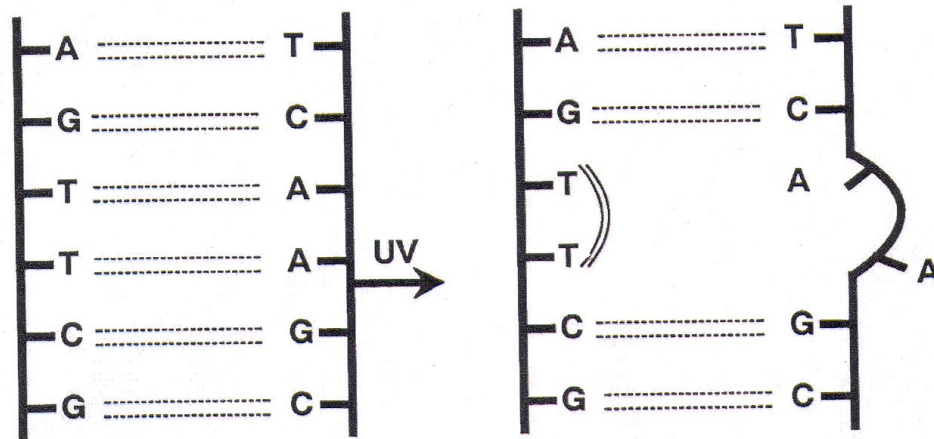
Ce sont des mécanismes de photoréparation ou de réparation à l'obscurité :

- Photoréparation (UV > 320 nm) : le système est régulé par voie enzymatique (la performance augmente avec la température).
- La réparation à l'obscurité est réglée aussi par voie enzymatique.

ACTION DES ULTRA-VIOLETS

Actions sur l'ADN des micro-organismes

Changement des bases pyrimidine de l'ADN en thymine dimère

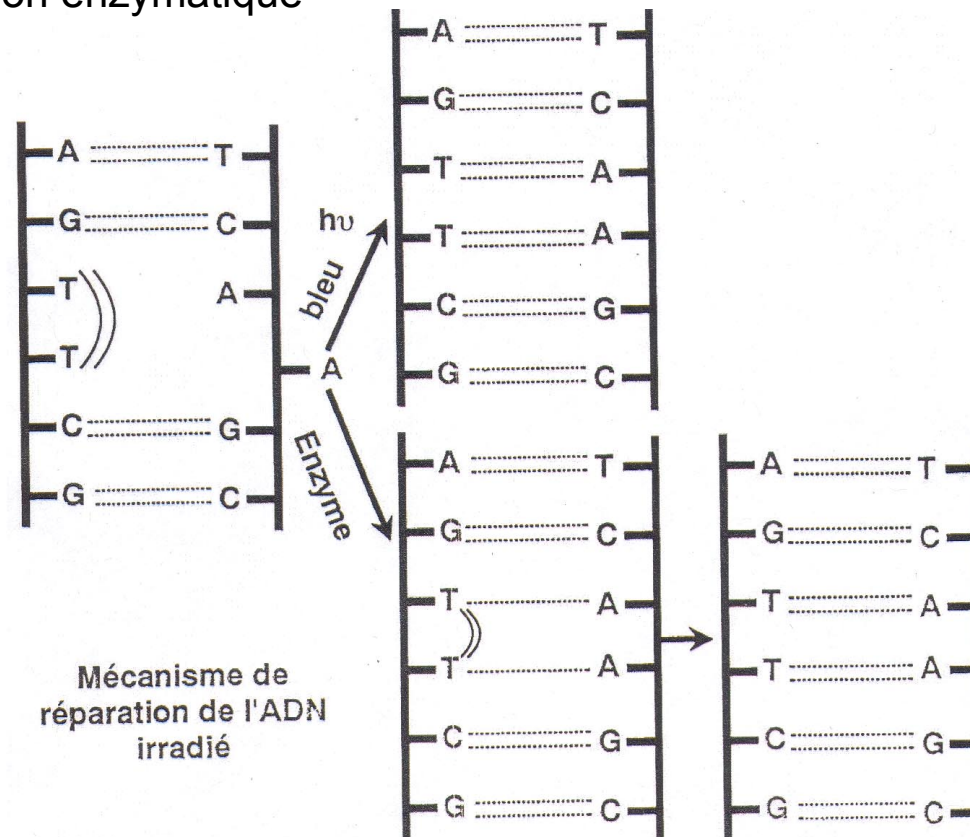


AUTOREPARATION DE L'ADN ATTEINTE PAR LES UV

En pratique, si la désinfection est efficace, ces phénomènes ne se passent pas de façon importante.

2 cas sont signalés :

- Autoréparation par l'absorption d'énergie lumineuse
- Autoréparation enzymatique



INTENSITE D'IRRADIATION

Dépend de :

- la technologie d'émission de la lampe
- la température de la lampe
- la transmission optique de la lampe
- le voltage de la lampe
- l'âge de la lampe
- la formation de dépôts sur la lampe
- l'absorption de l'énergie lumineuse par le liquide en contact avec la lampe
- la réflectance du matériel utilisé pour construire le réacteur
- la géométrie du réacteur
- la superposition de l'émission de plusieurs lampes

PARAMETRES A RETENIR POUR LES INSTALLATIONS DE LAMPE UV

- L'intensité à prendre en compte est celle obtenue après 1000 à 12000 heures d'émission, soit 75 % de celle d'origine.
- Pour les lampes basse pression, il faut impérativement les changer après 7500 heures.
- Les lampes haute ou moyenne pression, les lampes Sb/Xe ont une durée de vie de l'ordre du 1/3.
- Un démarrage/arrêt correspond à un vieillissement de 1h.
- Il faut prendre en compte la température la plus froide de l'eau pour le calcul de l'intensité UV.
- L'émission maximale d'intensité UV n'est obtenue qu'après le démarrage de la lampe cathode chaude.
- On doit prendre en compte la valeur minimale de la différence de potentiel du courant pour le calcul de l'intensité.
- On doit installer le système à l'endroit où le débit d'eau est le plus constant.
- Il faut pouvoir avoir un accès facile des lampes. Le nettoyage doit se faire régulièrement : alcool, ammoniac. Il faut interdire les pâtes à recurer, les détergents, les abrasifs, les huiles et les graisses.
- Il faut installer les ballasts sur des panneaux ventilés et éloignés des lampes.
- Si on a installé un « by pass », il faut s'assurer qu'il n'y a pas de fuite (eau non traitée).

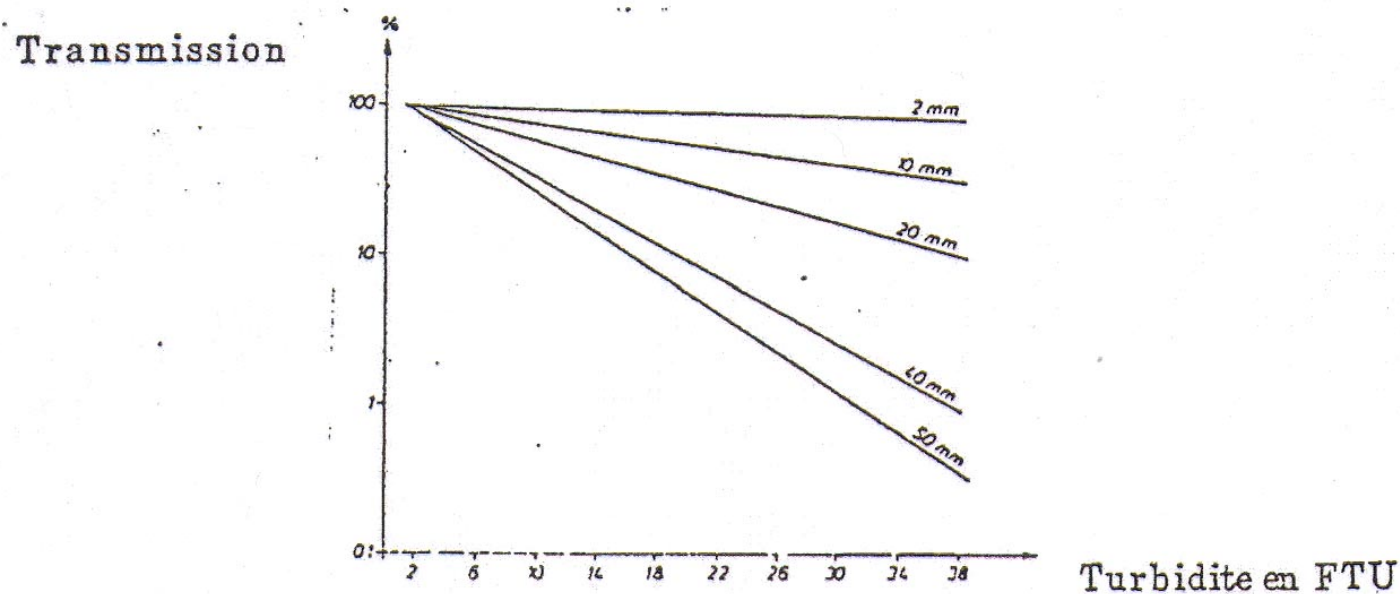
DOSES UV A 254 nm (4 D₁₀) NECESSAIRES POUR ELIMINER LES GERMES

Organismes	Conditions optimales (J/m ²)	Conditions pratiques (J/m ²)
E. Coli	66	130-400 <240>
Entérobactéries	34-76	240
L.pneumophila	70	90
S.Typhimurium	150	250
Ps.aeruginosa	105	?
Clostridium	?	500
Ubiquitus	?	[500]
Bactéries résistantes (M.radiodurans)	2000	?
Levure de bière	66	200
Champignons	130-175	1200
Spores végétales	?	2500
Coliphages	40	?
Virus (entero)	?	150-1500
Animaux (micro)	?	[5000]
Microalgues : phytoplancton	?	100
Algues (bleues, vertes)	?	[10000-25000]

MAXIMUMS TOLERABLES DANS L'EAU A TRAITER POUR UNE BONNE DESINFECTION UV

Turbidité	< 40 mg silice
Couleur	< 10° Hazen
Fer	< 4 mg/l
DBO	< 10 mg/l
MES	< 15 mg/l
Azote organique	< 3 mg/l

Pourcentage de transmission UV à 253,7 nm en fonction de la turbidité pour 5 profondeurs d'eau



Profondeur en mm	Transmission en %
8	83
45	35
100	10

Turbidité (FTU)	Couleur (mg Pt/l)	Transmission (%)
0.25	5	87
0.45	5	87
0.35	5	54
0.35	15	39
0.35	20	24
0.45	10	41
0.45	10	62

DESINFECTION UV

➤ Avantages :

- On n'ajoute pas de réactif chimique à l'eau.
- Les équipements sont faciles à surveiller. Ils ne demandent pas de spécialiste.
- Les équipements sont très facilement automatisables.
- On ne manipule pas et on ne stocke pas de réactifs chimiques.
- On peut utiliser les UV en synergie avec H₂O₂ et O₃.

➤ Désavantages :

- Il n'y a pas d'effet rémanent.
- Les lampes coûtent relativement cher. Il faut les remplacer souvent.
- Si la lampe n'est plus germicide, rien ne le signale.
- Le contrôle de l'efficacité du rayonnement UV est difficile à effectuer.
- Les UV font courir des risques pour les yeux et la peau.

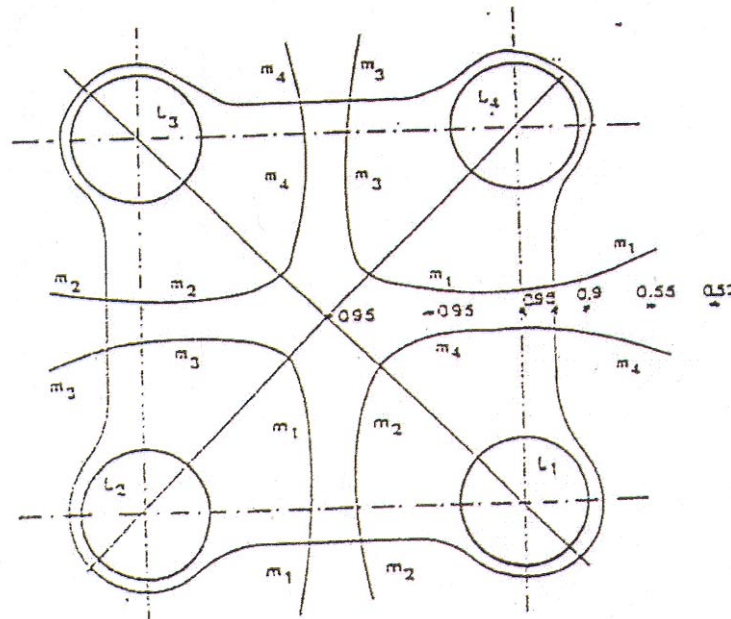
LAMPES MULTIPLES IMMERGEES ADDITIVITE DES ENERGIES

Même dans le cas où on est défavorable, il est possible de mettre plusieurs lampes pour augmenter l'efficacité du traitement.

Ex : 4 lampes disposées en cône
Ri : 2 cm
Distance entre les lampes : 8 cm
E = 0,2 cm⁻¹

La figure montre la distribution du facteur m. On voit que dans le carré central, on a une bonne valeur pour m. Cela est dû à un effet cumulatif des émissions des lampes. On voit que le mélange axial joue un rôle très important.

Définition du facteur m dans un réacteur à 4 lampes



ETUDE D'UN REACTEUR A 3 LAMPES

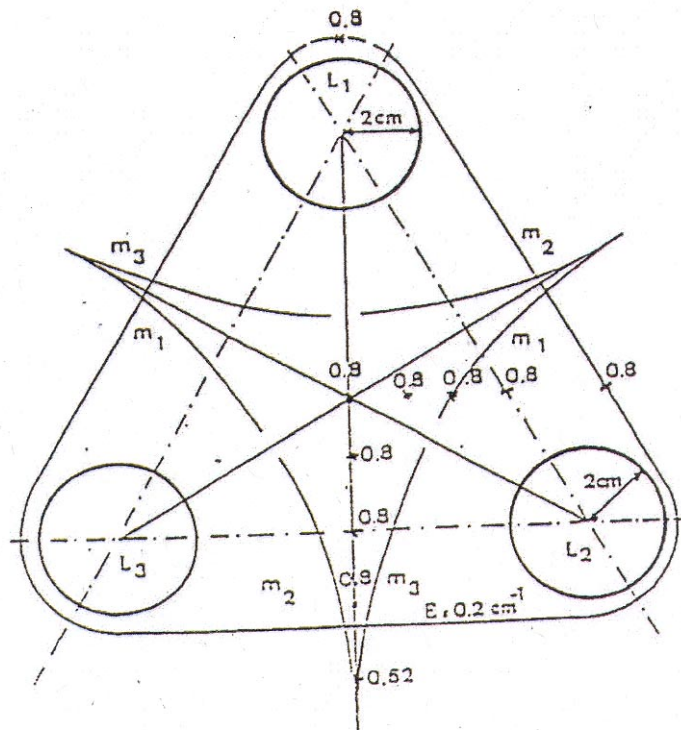
$R_i = 2 \text{ cm}$

Distances entre les lampes = 8 cm

$E = 0,2 \text{ cm}^{-1}$

Dans ce cas, $m = 0,8$

Distribution du facteur m dans un réacteur à 3 lampes



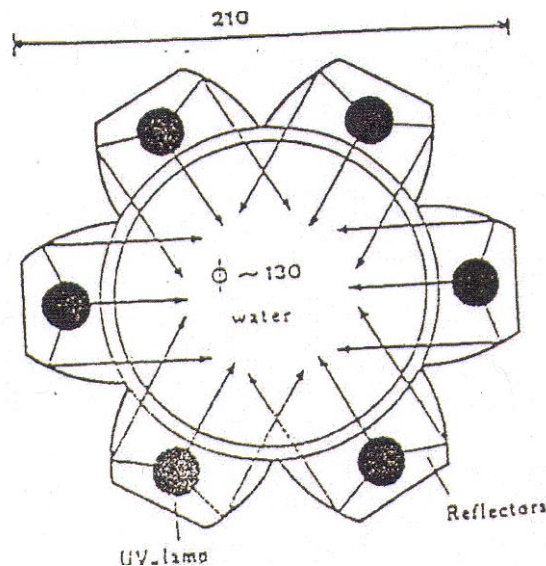
TECHNOLOGIE DE L'IRRADIATION INDIRECTE

Certains réacteurs ont des lampes externes à l'eau.

Il faut savoir que l'on peut perdre de 40 à 50 % par limitation de la réflectance.

Les lampes sont situées de 2 à 10 cm de la surface de l'eau qui a une épaisseur de 2 à 10 cm.

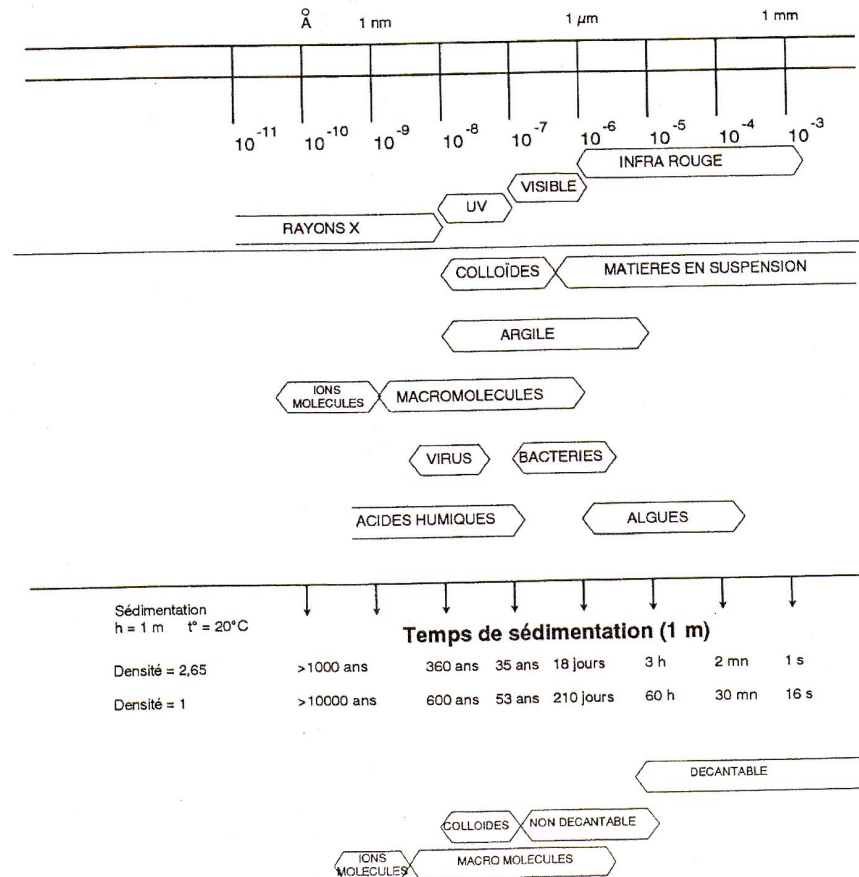
Réacteurs à lampes externes



PROCEDES MEMBRANAIRES

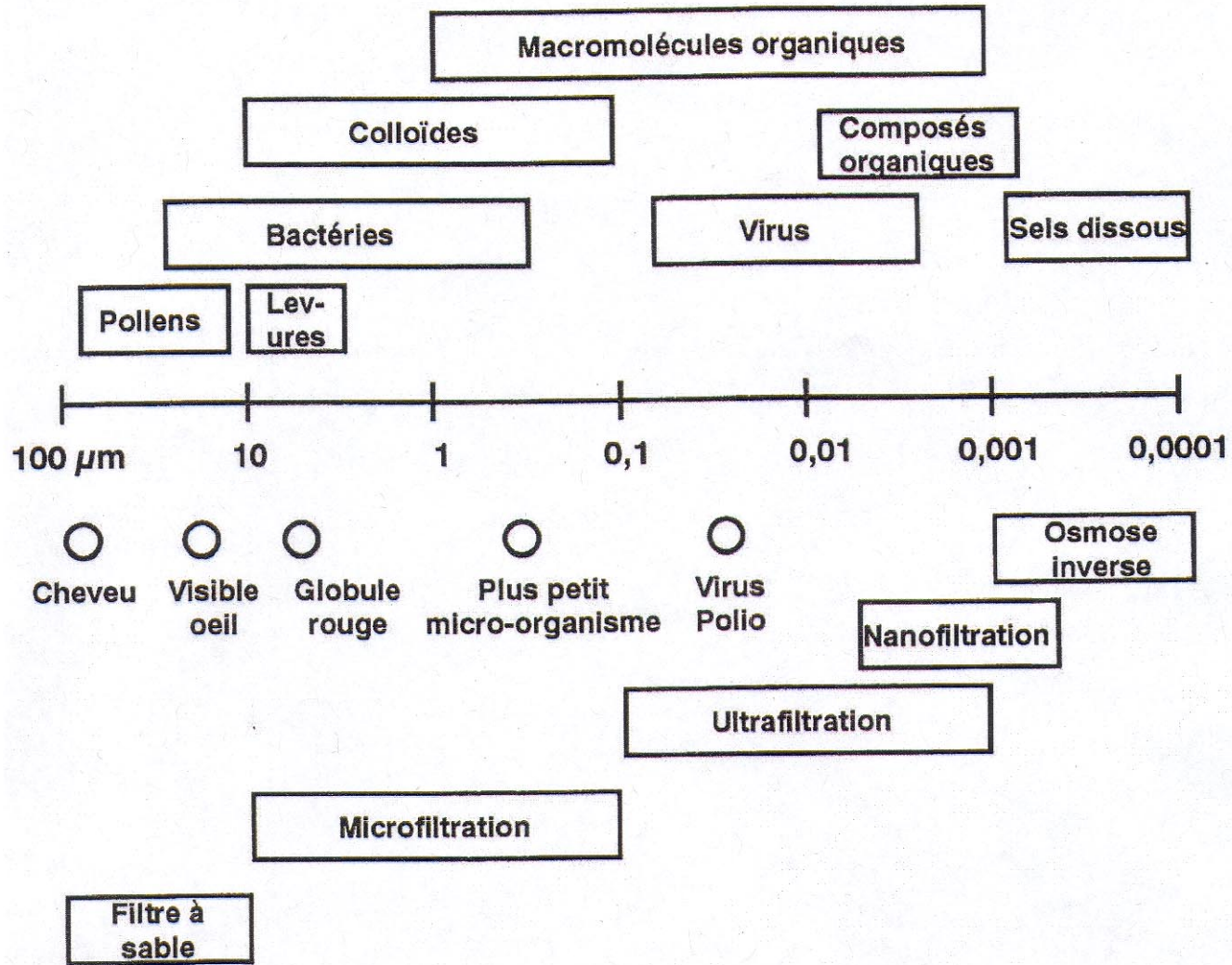
CORRESPONDANCE DES ELEMENTS DE L'EAU SUIVANT LEUR TAILLE

- Eléments inertes
- Eléments vivants



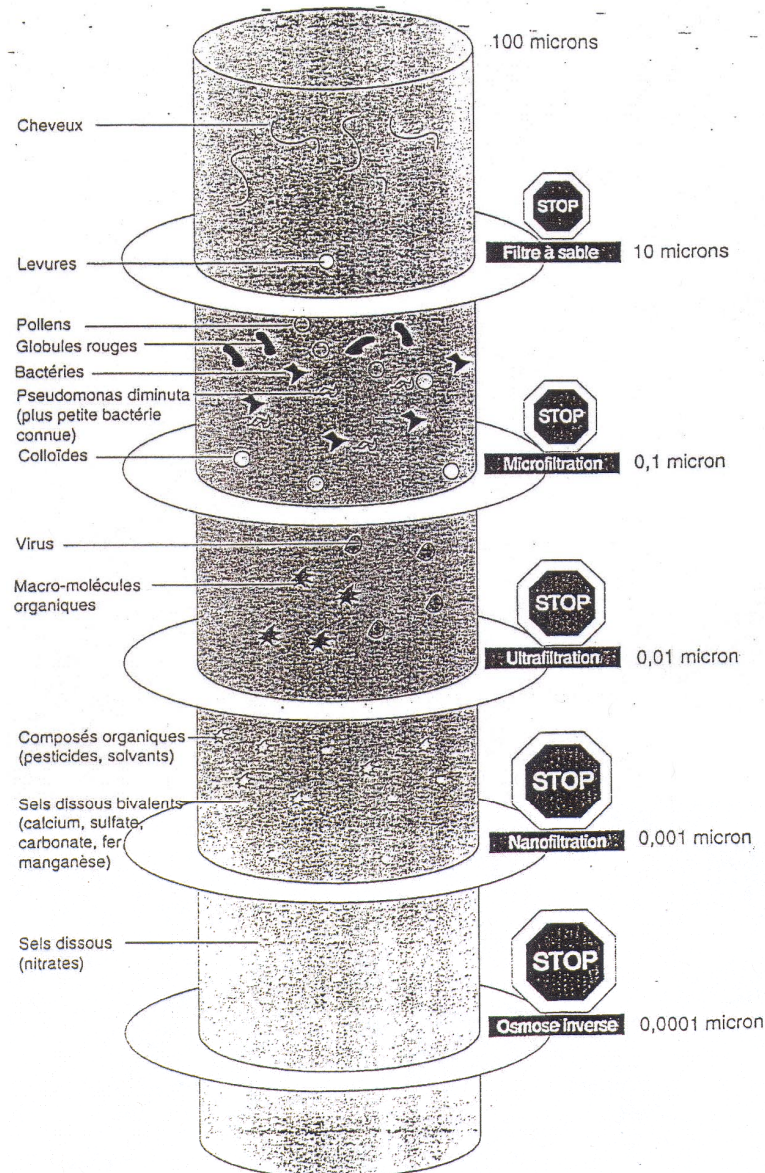
MEMBRANES SEMI PERMEABLES

THEORIE

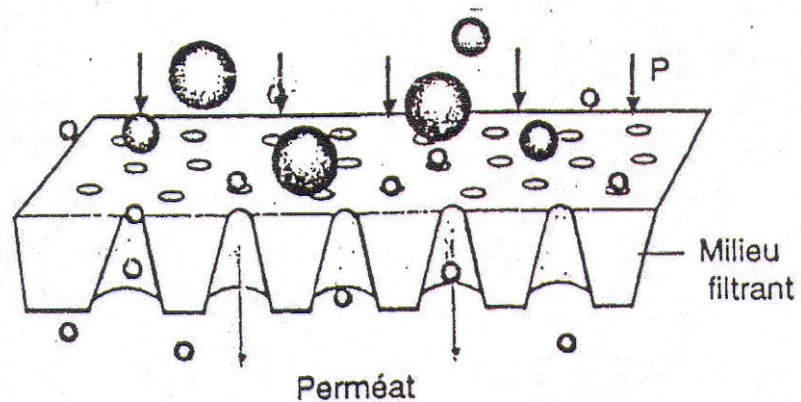


TAILLE DES PARTICULES ARRETEES

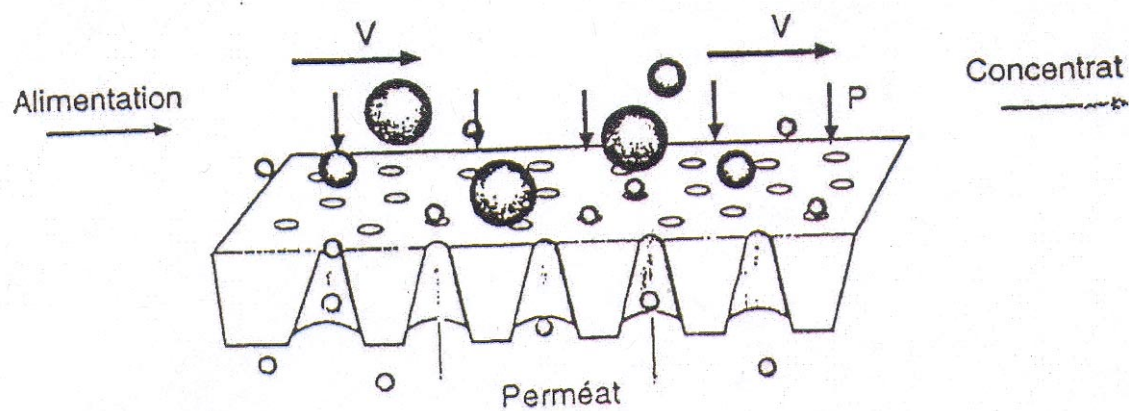
Notion de seuil de coupure



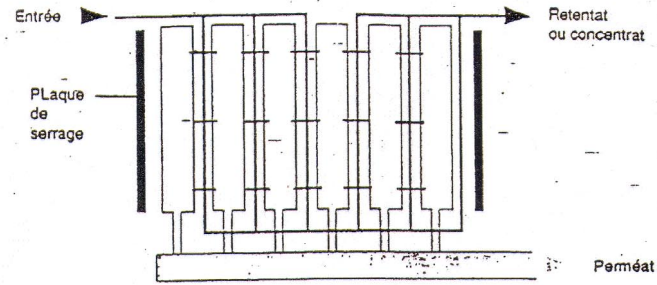
FILTRATION FRONTALE



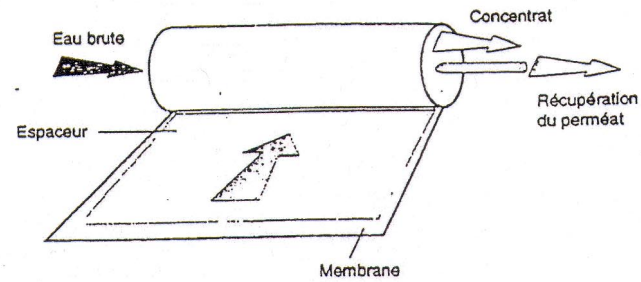
FILTRATION TANGENTIELLE



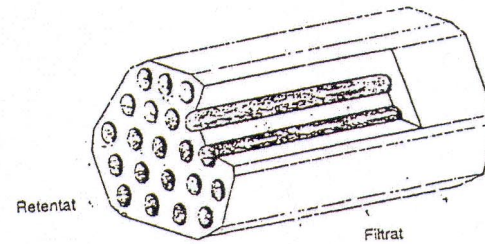
► Module plan



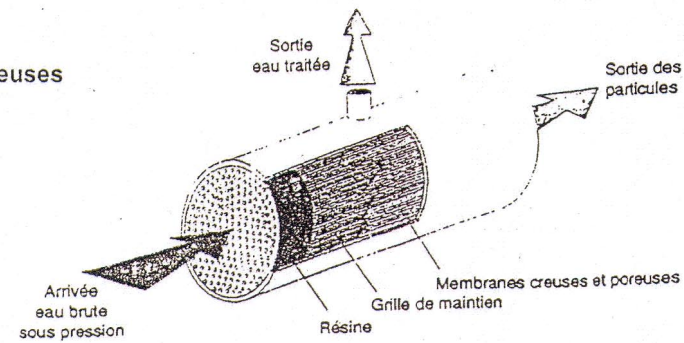
► Module spiral



► Module tubulaire

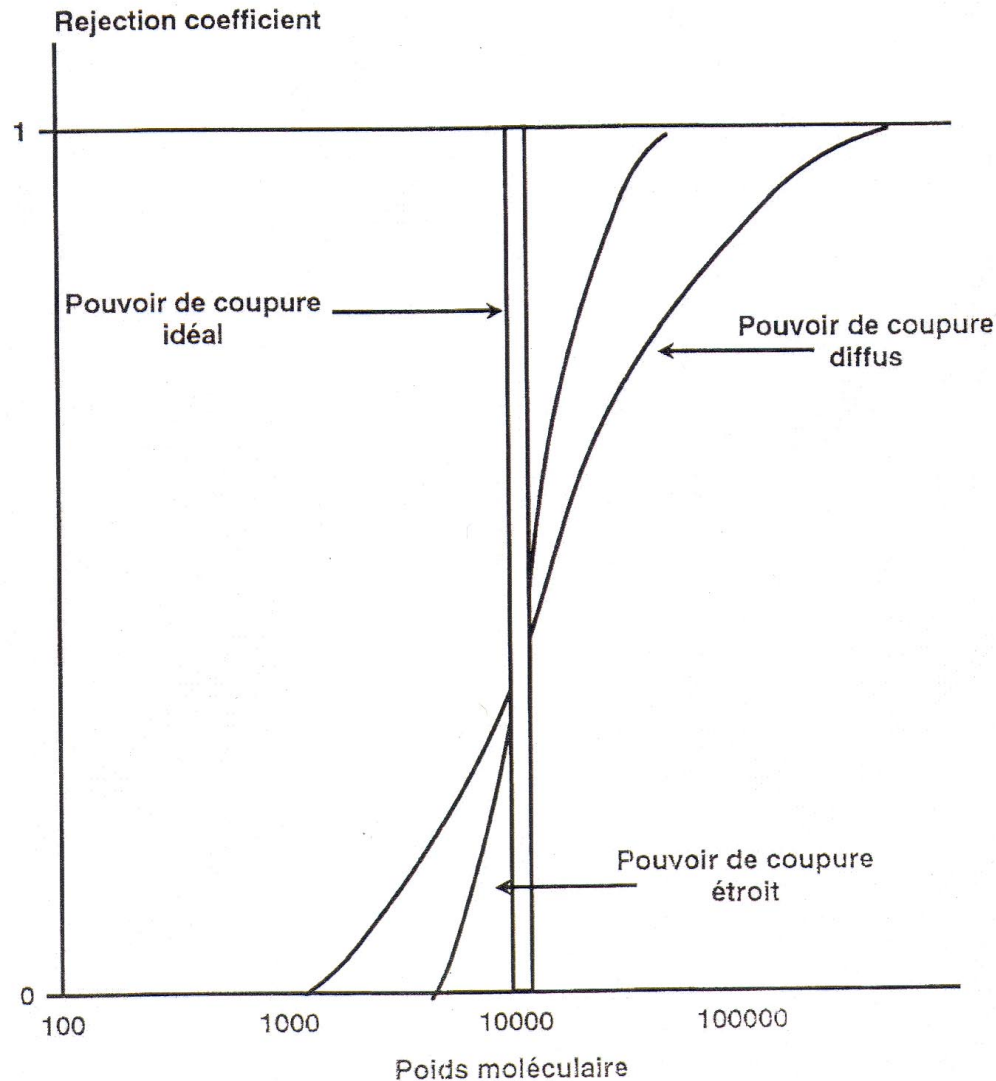


► Module fibres creuses



POUVOIR DE COUPURE

Caractéristiques de réjection typique des membranes d'ultrafiltration montrant les pouvoirs de coupure idéaux, étroits et diffus.



ATTENTION

Ces traitements n'ont pas été reconnus par le Ministère de la Santé comme désinfectants.

Les indicateurs ne peuvent être pris en compte.

Il faut un comptage de particules.

LA DESINFECTION CHIMIQUE

- Les oxydants
- Les métaux lourds
- Les biocides de synthèse ou naturels

OXYDANTS UTILISES DANS LA DESINFECTION DES EAUX

- Le chlore et ses dérivés
- Autres halogènes
- Le permanganate de potassium
- L'ozone
- Les peroxydes : H_2O_2 – Acide péracétique

HISTORIQUE DE L'UTILISATION DU CHLORE EN TRAITEMENT DES EAUX

1850 : Traitement contre les maladies d'origine hydrique

1881 : Désinfection

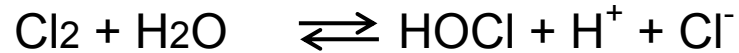
1920 : Elimination de NH_4^+ (break point)

1974 : Découverte des haloformes

Composés chimiques	Etats de valence
Perchlorate de sodium	$\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{+7}\text{O}_4^{-8}$
Chlorate de sodium	$\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{+5}\text{O}_3^{-6}$
Bioxyde de chlore	$\text{Cl}^{+4}\text{O}_2^{-4}$
Chlorite de sodium	$\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{+3}\text{O}_2^{-4}$
Hypochlorite de sodium	$\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{+1}\text{O}^{-2}$
Acide hypochloreux	$\text{H}^{+1}\text{Cl}^{+1}\text{O}^{-2}$
Acide chlorhydrique	$\text{H}^{+1}\text{Cl}^{-1}$
Chlorure de sodium	$\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{-1}$
Chlore	Cl°
Monochloramine	$\text{H}_2^{+2}\text{Cl}^{+1}\text{N}^{-3}$
Dichloramine	$\text{H}^{+1}\text{Cl}_2^{+2}\text{N}^{-3}$
Trichloramine	$\text{Cl}_3^{+3}\text{N}^{-3}$

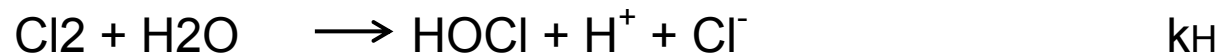
Composé chimique	Masse molaire	Equivalent chlore pour 1 mole de composé	Pourcentage de chlore poids	
			dans la molécule	Equivalent chlore
Cl_2	71	1	100	100
HOCl	52.5	1	67.7	135.4
NaOCl	74.5	1	47.7	95.4
$\text{Ca}(\text{OCl})_2$	143	2	49.6	99.2
NH_2Cl	51.5	1	69.0	138.0
NHCl_2	86	2	82.5	165.0
NCl_3	120.5	3	88.5	265.5
$\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NCl}_2$ Holazone	271	2	26.2	52.4
NCICONCICONCICO Acide trichloroisocyanurique	232.5	3	45.8	91.5
CONCICONCICONH Acide dichloroisocyanurique	198	2	35.8	71.5
CONCICONCICONNa Dichloroisocyanate de sodium	220	2	32.3	64.5

LE CHLORE ET SES DERIVES DANS L'EAU



pH < 4	Cl ₂ dissous
4 < pH < 5,6	HOCl non dissocié
5,6 < pH < 10	HOCl et OCl ⁻
pH > 9	OCl ion hypochloreux

Nous avons les réactions suivantes :



$$k_H = \frac{(\text{H}^+) (\text{Cl}^-) (\text{HOCl})}{(\text{Cl}_2)}$$

$$k_I = \frac{(\text{H}^+) (\text{OCl}^-)}{(\text{HOCl})}$$

k_H et k_I dépendent de la température :

Température	0°C	15°C	25°C	35°C	45°C
k _H x 10 ⁴	1,56	2,8	3,95	5,1	6,05
k _I x 10 ⁻⁸	2,00	3,00	3,7	-	-

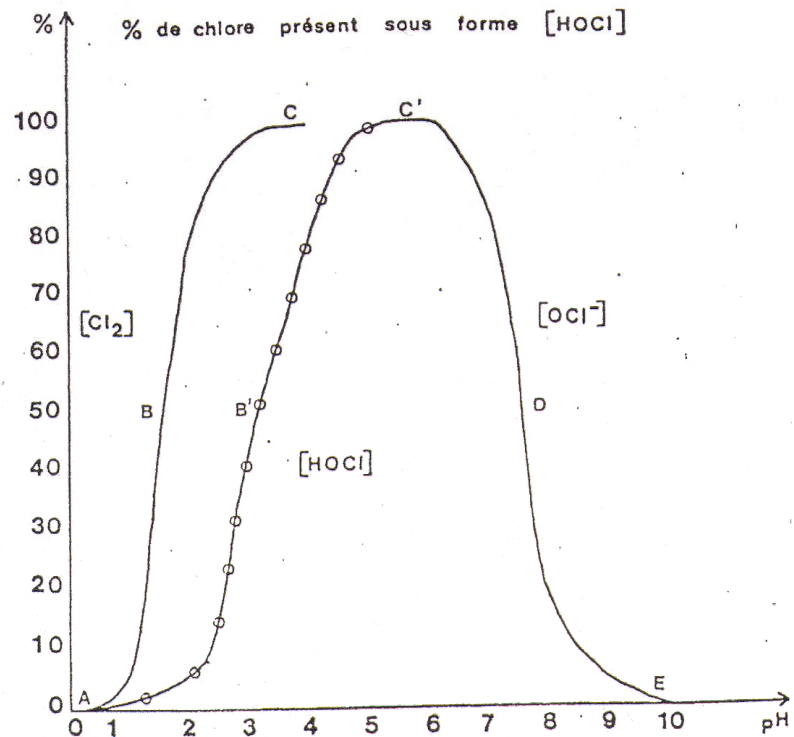


$$k_1 = \frac{[\text{HOCl}] [\text{H}^+] [\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}_2]}$$

$$k_1 = 4,04 \times 10^{-4} \text{ à } 20^\circ\text{C}$$



$$k_2 = \frac{[\text{OCl}^-] [\text{H}^+]}{[\text{HOCl}]}$$



EFFET DESINFECTANT

Sans nier les possibilités d'une réaction destructrice indirecte de cet agent oxydant puissant sur la structure même de la cellule vivante, mais cela à des doses résiduelles élevées, à faible dose, l'effet bactéricide est dû à une inhibition enzymatique.

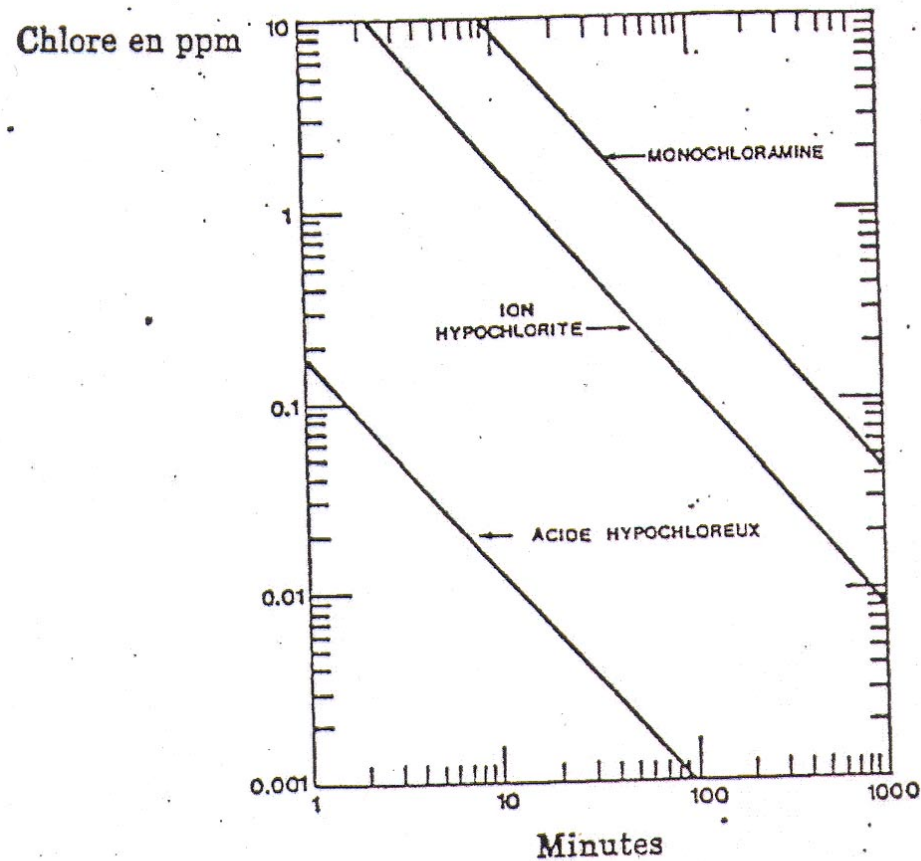
La cinétique de la stérilisation des germes est gouvernée :

d'une part, par la vitesse de filtration des molécules à travers la membrane cellulaire

d'autre part, par la modification de la vitesse de réaction des métabolismes de la cellule en raison de l'inhibition des enzymes situées à l'intérieur de la cellule.

La vitesse d'inactivation des germes dépendra essentiellement des formes HOCl du chlore (pH) et sera gouvernée par les lois générales de la diffusion. Elle augmente avec la température, la dose de chlore et le temps de contact.

COMPARAISON DE L'EFFICACITE GERMICIDE DE L'ACIDE HYPOCHLOREUX DE L'ION HYPOCHLORITE ET DE LA MONOCHLORAMINE



99 % de destruction de E. coli a 2-6°C

99 % de destruction de E. coli à 2-6 °C

EFFET BACTERICIDE

Paramètres influençant en désinfection la quantité de chlore nécessaire

- Les micro-organismes
 - Le nombre de micro-organismes à détruire
 - Le type de micro-organismes

- Le traitement
 - La quantité de chlore
 - Le temps de contact

- L'eau
 - Température
 - pH
 - Turbidité
 - Teneur en aluminium
 - Teneur en réducteurs minéraux
 - Teneur en composés organiques
 - Demande en chlore

ROLE DU CHLORE

- Bactéricide
- Virucide
- Algicide
- Bactériostatique
- Oxydant
 - Minéral : NH_4^+ , Fe^{++} , NO_2^- , S^-
 - Organique (demande en chlore)

Certains micro-organismes résistent aux traitements chimiques

TRAITEMENTS CHIMIQUES :

- spores,
- kystes.

Seuls les traitements physiques de rétention permettent de les retenir.

La mesure de la turbidité est un moyen qui permet de s'assurer de leur élimination.

Certaines relations ont pu être établies :

$$\text{Log abat. kystes giardia} = - 3,678 \text{ turb(NTU)} + 2,16$$

$$\text{Log abat. algues} = - 1,64 \text{ turb(NTU)} \text{ (filtration lente)}$$

$$\begin{aligned} \text{Log abat. spores clostridium sulfito-réducteur} = \\ - 5,778 \text{ turb(NTU)} + 3,23 \text{ (traitement physico-chimique)} \\ - 4,16 \text{ turb(NTU)} + 1,948 \text{ (traitement biologique lent)} \end{aligned}$$

TRAITEMENTS CHIMIQUES DE DESINFECTION

L'efficacité du traitement chimique dépend de :

- Le type de réactif chimique (Cl_2 , O_3 , NH_3 , Cl_2 , ClO_2 ...)
- La quantité de réactif
- La forme sous laquelle se trouve ce réactif (pH...)
- La vitesse de diffusion du réactif vers et à travers les micro-organismes (pH, température...)
- Le type de micro-organismes à détruire
- Le nombre de micro-organismes à détruire
- Le degré de protection des micro-organismes
- La quantité de composés contenus dans l'eau pouvant réduire l'action du désinfectant (NH_4^+)
- Le temps de contact organismes à détruire/désinfectant.

IMPORTANCE DES CONSTANTES

$$Ct = K^a C^b \text{ temp}^c \cdot \text{pH}^d$$

C: concentration en désinfectant

t : temps de contact

K : constante qui dépend du germe

temp : température de l'eau

pH : pH de l'eau

a, b, c, d : constantes établies expérimentalement

PROBLEMES INDUITS PAR LE CHLORE

Réactions secondaires

- Formation de chlorophénols
- Formation de THM
- Formation de TOX
- Formation de composés sapides

Le risque microbiologique étant un risque à court terme, il faut :

aussi peu que possible de chlore
autant que nécessaire

IMPORTANCE DE LA TURBIDITE

La turbidité joue un rôle sur :

- Le nombre de germes à détruire
- La protection des micro-organismes par les colloïdes : argiles, humates

CONCLUSION

➤ IMPORTANCE DE LA TURBIDITE

- Qualité bactériologique de l'eau
- Action des désinfectants

Différence entre traitements physico-chimiques, chimiques et biologiques

➤ ROLE DE LA TURBIDITE

- Réduction du nombre de germes
- Réduction de la consommation en oxydant
- Réduction de la protection des bactéries
- Elimination d'organismes résistants, de formes résistantes au chlore

EFFET BACTERIOSTATIQUE

- Quantité de chlore résiduel
- Demande en chlore de l'eau
- Temps de séjour dans le réseau
- Niveau de propreté du réseau
- Quantité de nutriments dans l'eau
- Potentiel de post-précipitation de l'eau

EFFET BACTERIOSTATIQUE

La stabilisation du nombre de bactéries peut être obtenue par le chlore.

4 raisons montrent que ce n'est pas une solution :

1. Les eaux qui ont un potentiel de prolifération bactérienne ont des demandes en chlore élevées. Pour conserver un résiduel, il faut des rechlorations dans le réseau. Le biofilm s'autoprotège.
2. Cela conduit à la formation de TOX – THM.
3. Cela conduit à la production de composés sapides.
4. Les résiduels élevés peuvent être à l'origine des corrosions.

L'instabilité biologique est due à :

- CODB
- NH_4^+
- NO_2^-
- Fe^{++}
- Mn^{++}

CHLORAMINES

➤ **Avantage**

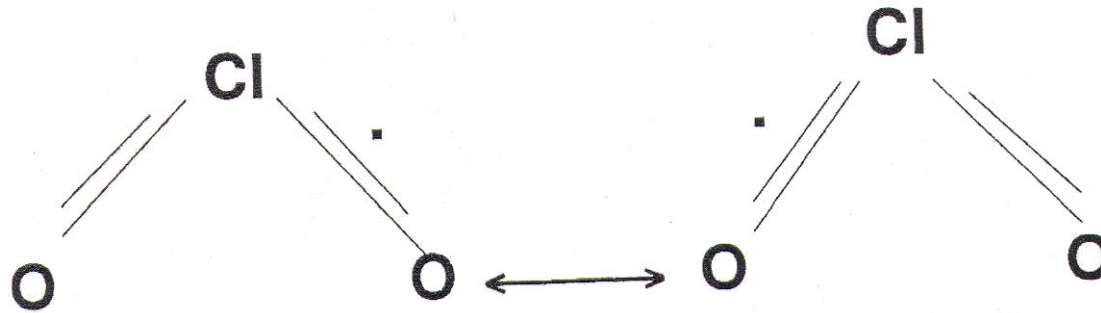
Bon bactériostatique

➤ **Désavantage**

Mauvais bactéricide

LE DIOXYDE DE CHLORE

ClO₂



Couleur

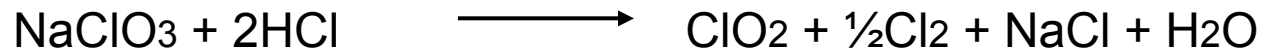
Gaz	Orange
Liquide	Orange
Solide	Rouge
Point de fusion	- 59 °
Point d'ébullition	+11 °
Densité	
Liquide 0°C	1,64
Vapeur	2,4

BIOXYDE DE CHLORE

Préparation :

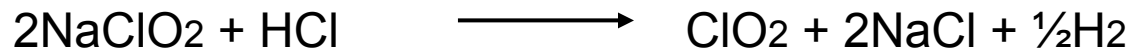
- A partir du chlorate

- Méthode acide

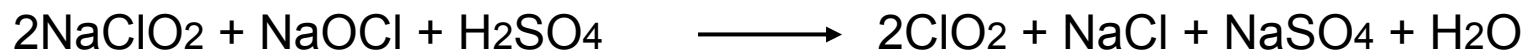
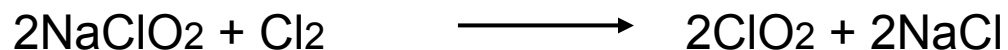


- A partir du chlorite

- Méthode acide



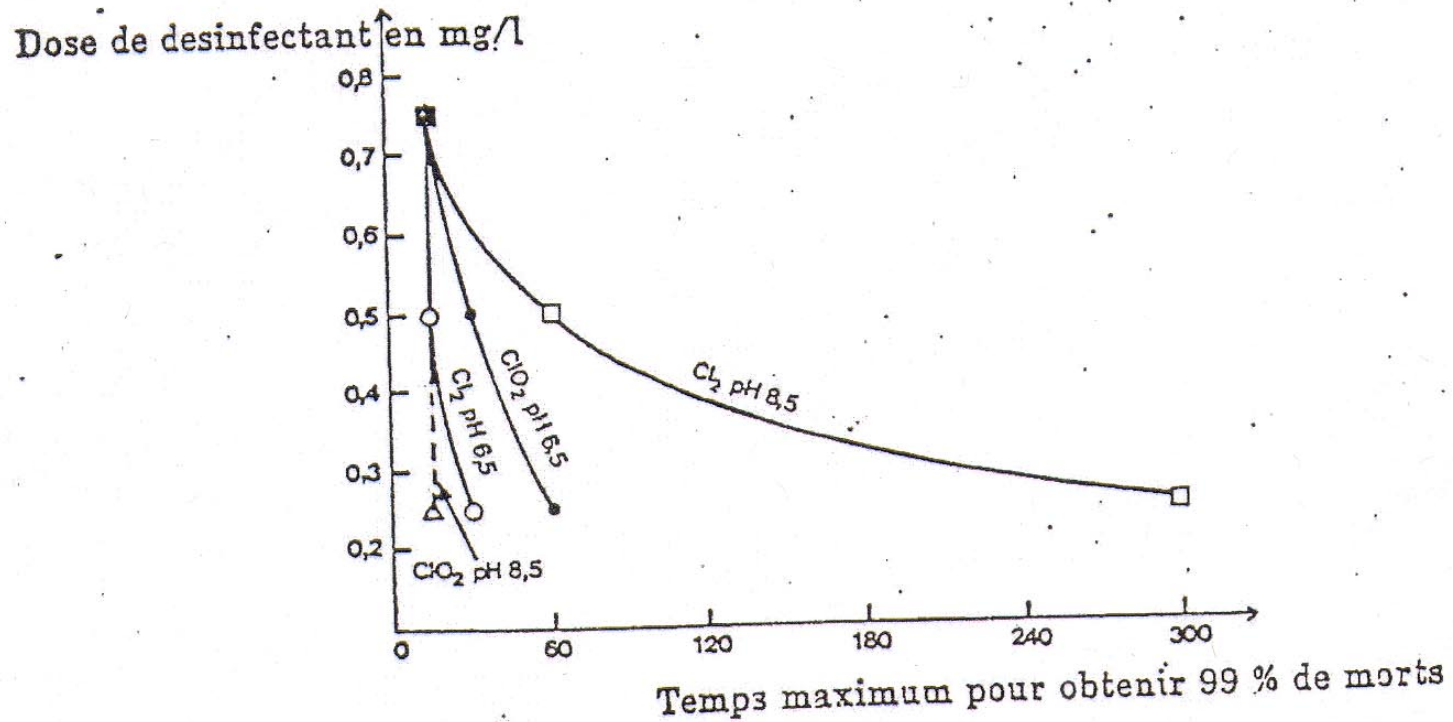
- Méthode au chlore



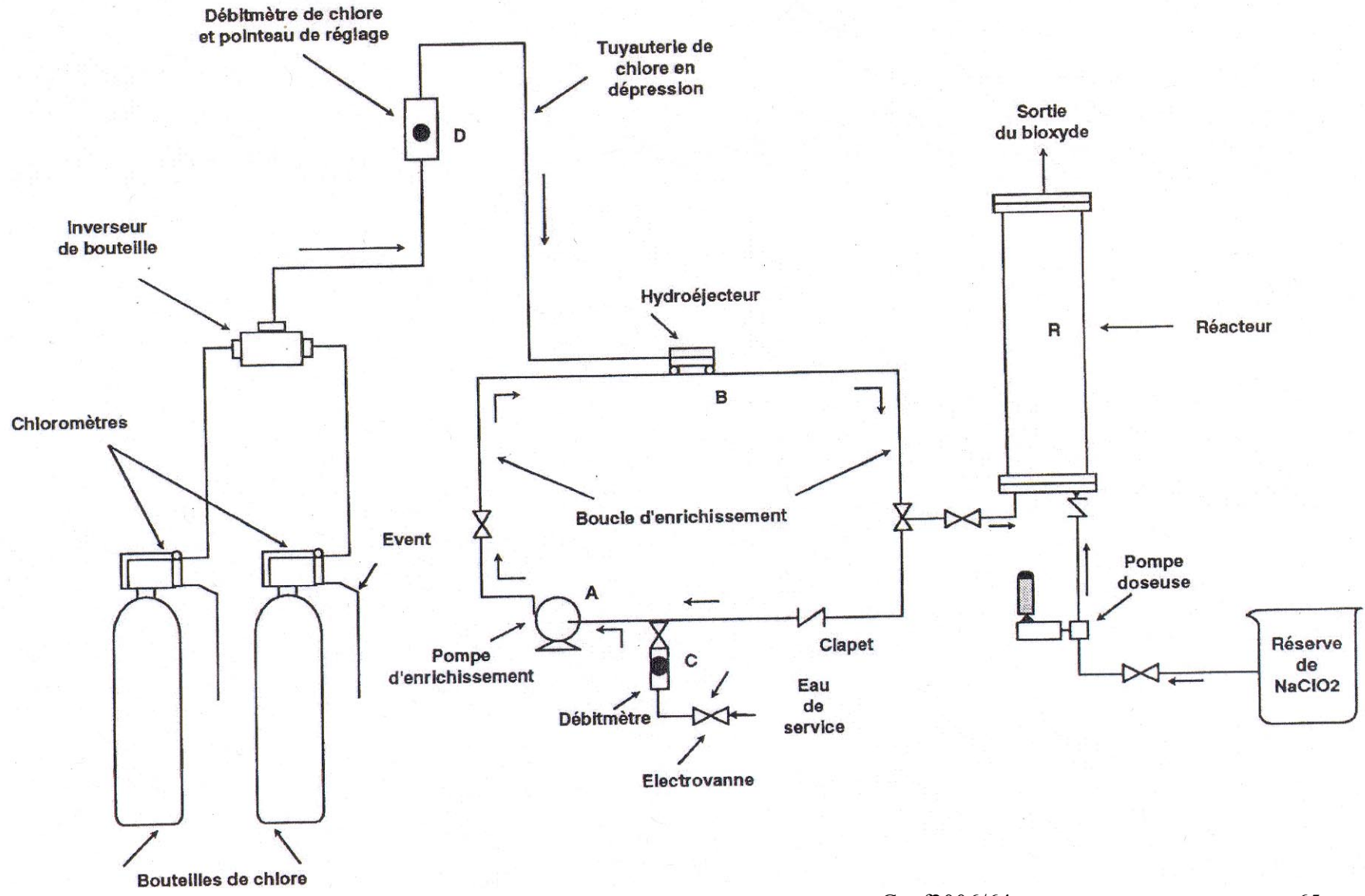
L'effet bactéricide est comparable à celui du chlore.

L'effet bactéricide ne varie pas avec le pH.

Efficacité germicide relative entre le chlore et le bioxyde de chlore



Préparation du ClO₂ par action du chlore sur le chlorite de sodium : boucle d'enrichissement



➤ Autres halogènes

- Brome
- Iode

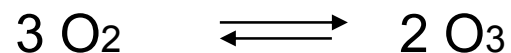
➤ Autres désinfectants

- Ozone
- Permanganate de potassium
- Les peroxydes : H_2O_2

PRODUCTION D'OZONE

L'ozone est un gaz produit industriellement par décharge électrique dans l'air, l'oxygène ou l'air enrichi d'oxygène.

Compte tenu de son instabilité, il est préparé sur le site



avec $\Delta H = 284,24 \text{ KJ}$ (142,12 KJ mole)

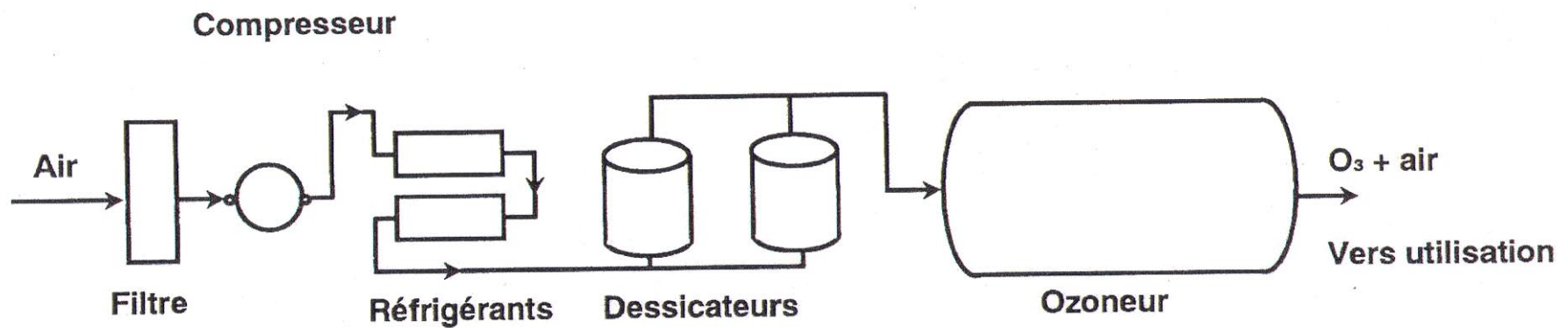
Cette énergie ne peut être amenée par l'énergie thermique car il y a déplacement de l'équilibre vers la gauche. Il faut une autre forme d'énergie.

Comme la température déplace l'équilibre, il sera nécessaire de refroidir le système.

Les meilleurs résultats sont obtenus dans des plasmas froids en couronne créés par une « effluve électrique ».

PRODUCTION D'OZONE

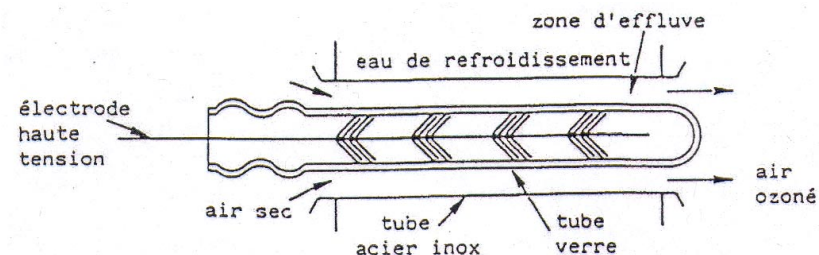
Schéma de principe de la filière de traitement de l'air



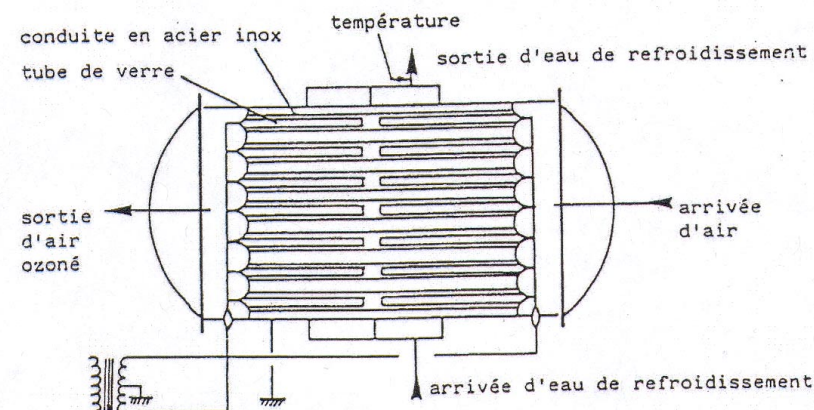
GENERATEUR D'OZONE

L'ozoneur est constitué d'un ensemble de générateurs élémentaires

- Schéma d'un ozoneur tubulaire élémentaire (procédé Welsbach)



- Générateur d'ozone à tubes horizontaux



Paramètres à prendre en compte pour un ozoneur :

- la siccité de l'air
- la pression d'introduction
- la température de l'eau de refroidissement
- la fréquence du courant

TRANSFERT DE L'OZONE DANS L'EAU

Constante de Henry H

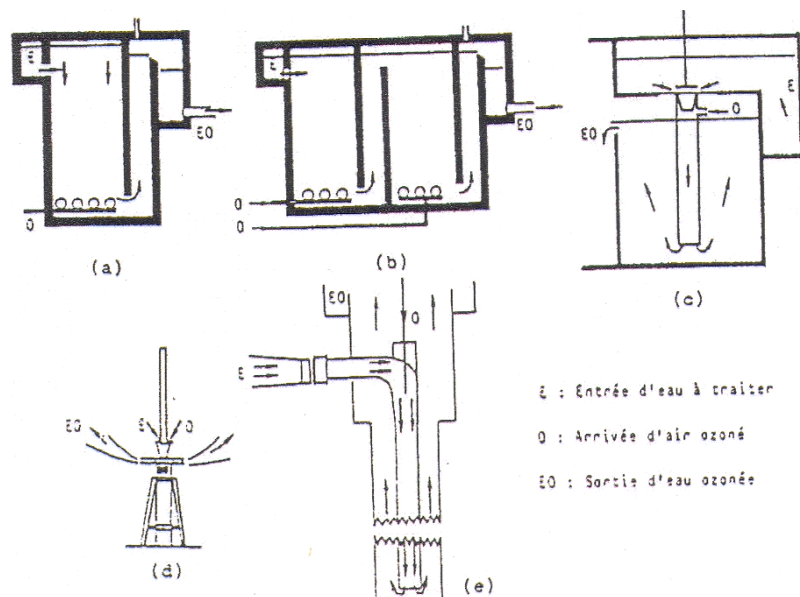
Température (°C)	5	10	15	20	25	30
H (atm/frac.mol)	2180	2480	2880	3760	4570	5980

L'ozone est un gaz peu soluble dans l'eau : H élevé

Schéma de principe des différents systèmes de transfert de l'ozone

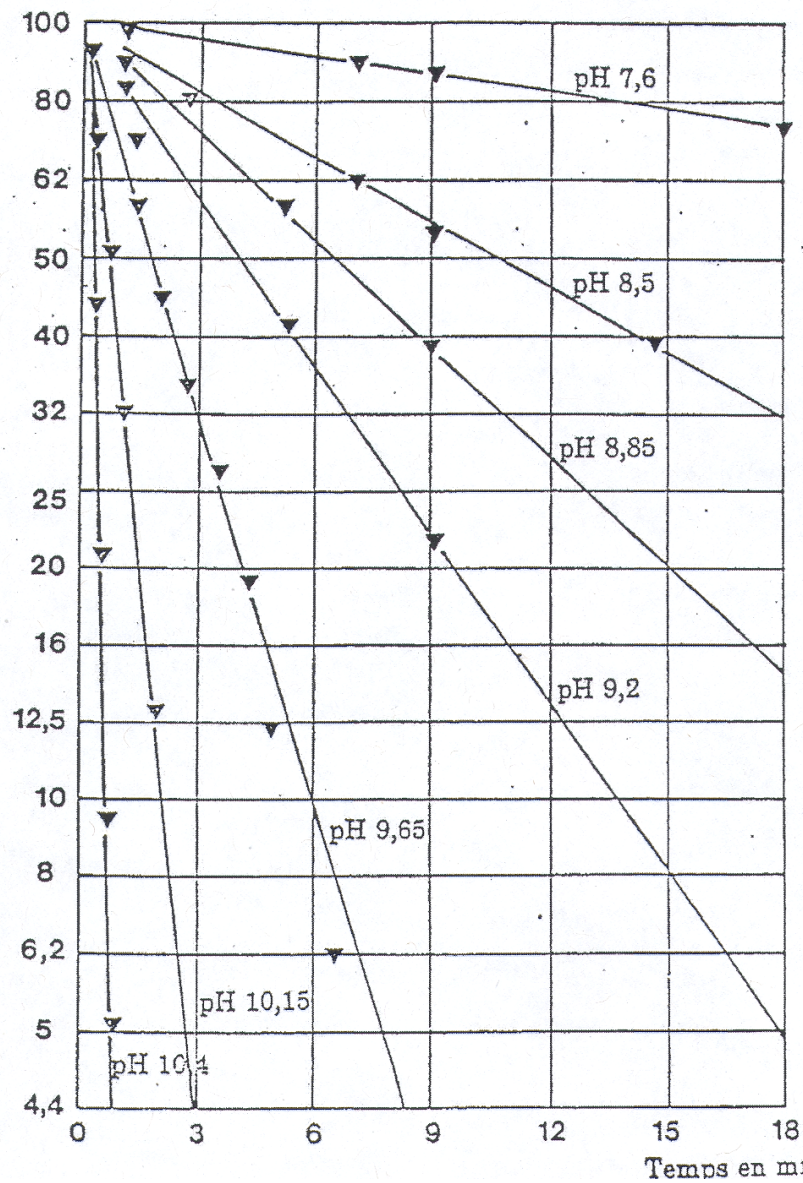
(a) et (b) diffusion par poreux
(d) diffusion par turbine

(c) diffusion par hydroéjecteur
(e) diffusion par tube en U



Décomposition de l'ozone et pH

% du résiduel d'ozone



AUTRES BIOCIDES CHIMIQUES

- Les métaux lourds
 - Cuivre
 - Argent

- Ammoniums quaternaires

- Les pyréthrinés

Réactif ou procédé	Type de problème	Traitement algicide	Dés.de l'eau	Effet bactériol.	Eau de piscine	Désinfection réservoirs canalisations	Désinfection résines cationiques
Filtration lente 2 à m/j		+	+				
Rayon. UV			+				
Chlore 0.5 à 20 ppm		+	+ (si NH ₄ ⁺)				
NH ₃ 0.2 ppm 10 à 100 ppm		+	+ (si NH ₄ ⁺)	+	+	+	
ClO ₂ 0.5 à 1 ppm		+	+	+			
NH ₂ Cl 1 à 2 ppm		+		+			
O ₃ 0.5 à 1 ppm			+		+		
Br ₂ 0.5 à 2 ppm + NH ₂ Br							
I ₂ 2 à 5 ppm			+		+		
KMnO ₄ 0.5 à 1 ppm 50 à 150 ppm		+				+	
H ₂ O ₂			+				
CH ₃ COOH							+
Ammonium quaternaire						+	+
Pyréthrines						+	

CONCLUSION

Réactifs	Efficacité			Pouvoir rémanent	Effet bactériostatique biofilm
	Bactéries	Virus	Kystes		
HOCl	++++	++++	++	++++	++
OCl	++++	++	+	+++	+++
NH ₂ Cl	++	+	- +++++	++++	++++
O ₃	++++	++++	+++	-	-
CLO ₂	++++	++++	+++	+++++	++
Iode	++++	+++	++++	++++	+++
Brome	++++	++++	+	+++	++
FeO ₄ ⁻	++	+++	-	-	-
H ₂ O ₂	-	-	+	+++	+++
UV	+++	+++	+	-	-
Radiations ionisantes *	++	++	+	-	-
KMnO ₄ *	-	-	-	+++	++
Ag	+	-	-	+++	+

- * : réactif non utilisé ou non utilisable
- ++++ : excellent
- +++ : bon
- ++ : moyen
- +
- : très faible