

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER I



n° 8133

FACULTÉ DE PHARMACIE

Contribution à l'étude de l'inactivation  
de germes pathogènes  
par traitements physico-chimiques  
dans l'épuration des eaux usées

**THÈSE**

présentée à la Faculté de Pharmacie de Montpellier pour obtenir le grade de

Docteur d'Etat es Sciences Pharmaceutiques

par

**Smaïl KRIM**

Pharmacien

Certificat d'Etudes Supérieures d'Hydrologie appliquée à l'étude de la pollution de l'eau

Certificat d'Etudes Supérieures de Bromatologie

Diplômé d'Expertise des Nuisances

Assistant à la Faculté de Pharmacie de Montpellier

soutenue le 21 Mai 1981 devant la Commission d'Examen

<b>JURY :</b>	<b>M. J. BONTOUX</b>	Professeur, Université Montpellier I	<i>Président</i>
	<b>M. R. BAYLET</b>	Professeur, Université Montpellier I	} <i>Assesseurs</i>
	<b>M. J.M. BASTIDE</b>	Professeur, Université Montpellier I	
	<b>M. R. BEN AIM</b>	Professeur, Université Montpellier II	
	<b>M. J.C. BLOCK</b>	Professeur, Université de Metz	

La concentration humaine devenant de plus en plus importante dans les centres urbains, il en résulte une augmentation des rejets avec tout ce que cela comporte comme aggravation des risques de pollution.

De plus, ces rejets sont souvent concentrés par les systèmes mis en place pour leur récupération (exp. : station de traitement des eaux usées), puis émis en un seul point dans le milieu récepteur (mer, rivière ou étang).

Cette situation favorise le déséquilibre de l'environnement. Il devient alors impératif de fixer des objectifs de qualité visant dans leur mise en application à réduire sensiblement voire à éliminer les nuisances responsables de ces aggravations.

L'eau, élément vital qui nous est offert par la nature, n'est pas inépuisable. Nous sommes malheureusement en mesure de penser le contraire. En effet, les besoins humains en eau ne cessent d'augmenter, et ce que jadis l'homme trouvait dans la nature sans avoir à le purifier, et qu'il pouvait consommer directement, devient un bien très précieux, parfois aussi très coûteux.

Le drame de notre civilisation est que nous rendons cette eau inconsommable et même nocive pour l'environnement une fois émise de son cycle d'utilisation, car elle devient alors le véhicule de nuisances diverses, notamment microbiologiques.

Non seulement après se pose le problème de la qualité des eaux tant pour les usages récréatif, agricole, conchylicole ou de consommation directe, mais intervient aussi la notion de risque pour la santé humaine du fait de la présence de microorganismes pathogènes dans les eaux.

Les microorganismes pathogènes véhiculés par les eaux usées peuvent être répertoriés de façon très succincte en bactéries pathogènes (Salmonelles, Shigelles, Mycobactéries, Vibrio ... ), virus pathogènes (virus poliomyélitiques, virus coxsackies, virus ecko, virus des hépatites ... ), protozoaires (sous forme de kystes d'amibes, de Giardia, de Balantidium ... ) et helminthes (oeufs d'ascaris, d'enterobius ... ).

Pour faire face aux problèmes de la pollution microbiologique des eaux, en vue de la recherche d'une meilleure qualité des rejets vers le milieu, nous pouvons disposer de plusieurs moyens techniques plus ou moins satisfaisants.

Notre but n'étant pas de passer en revue tous les procédés de traitement des eaux usées, nous allons nous limiter à la simple citation de chacun des différents types.

Il existe les procédés d'épuration biologique artificiels (boues activées, lits bactériens, disques biologiques ... ) ou naturels (filtration par le sol, lagunages) et les procédés physicochimiques d'épuration, lesquels peuvent trouver leur place soit en amont des traitements biologiques (dégrillage, dessablage, déshuilage, décantation primaire ... ), soit en aval de ceux-ci comme traitements complémentaires en vue d'un affinage, mais ils peuvent aussi être conçus séparément. Ainsi, les procédés mis en oeuvre sont la coagulation-floculation suivie d'une décantation des boues. Ces trois opérations, simples a priori, peuvent faire l'objet de combinaisons de réactifs, selon la nature des rejets, avec plus ou moins d'efficacité quant aux résultats escomptés.

Que ce soit l'épuration par voie biologique ou par les procédés physicochimiques, nous restons en deçà des rendements d'élimination des microorganismes tenant compte de la notion de risque acceptable. Cependant il faut noter que les procédés physicochimiques purs permettent une amélioration des pourcentages d'élimination des microorganismes par rapport à ceux

obtenus avec les traitements biologiques. Mais il n'en demeure pas moins que les procédés physicochimiques purs restent insuffisants d'un point de vue de la santé humaine et que pour parvenir à l'idée du risque acceptable, il faille recourir aux procédés de désinfection.

Le but de la désinfection n'est somme toute pas d'éliminer totalement les microorganismes des eaux usées mais de minimiser au maximum les risques d'épidémies ou de maladies d'origine hydrique.

On peut ainsi, grâce à eux s'attendre à une inactivation voire une destruction d'une partie ou de la totalité des microorganismes pathogènes présents dans les eaux usées et par là même, dans le cas d'une contamination accidentelle, l'apport des microorganismes pathogènes sera inférieur à la dose minimale infectante c'est à dire à la dose au-delà de laquelle il y a un risque élevé d'infection.

Parmi les divers procédés de désinfection des eaux usées (chlore, dioxyde de chlore, brome, ozone ... pour les traitements chimiques, rayonnements ultra-violetts, radiations ionisantes ... pour les traitements physiques ou physicochimiques), nous avons choisi d'en expérimenter deux, lesquels font partie des procédés physicochimiques.

Le premier procédé de désinfection est basé sur un traitement physicochimique mixte en ce sens que nous avons conjugué les effets de la coagulation-floculation-décantation à une élévation du pH des eaux, laquelle résulte de l'utilisation de la chaux ou de la soude. Conjointement nous avons fait une approche du pouvoir désinfectant lié à la seule intervention du pH.

Nous pouvons nous résumer en disant que nous avons expérimenté le procédé de désinfection à pH alcalin.

Le second procédé ou procédé calco-carbonique qui a fait l'objet de la dernière partie de notre travail, résulte de l'utilisation de la chaux et du gaz carbonique, laquelle permet la formation de précipités de

carbonates de calcium capables de fixer et d'éliminer une partie de la pollution microbiologique des eaux usées.

Nous allons présenter dans ce travail sur la désinfection des eaux usées, les différentes méthodologies mises en application ainsi que les résultats obtenus sur l'élimination des bactéries témoins de contamination fécale, des bactéries pathogènes et des particules virales.

# PLAN

	Pages
1 METHODOLOGIE GENERALE DES ESSAIS	9
1.1 MATERIEL	9
1.1.1 EAU USEE SYNTHETIQUE	9
1.1.2 pH DES ESSAIS	10
1.1.3 SOLUTIONS ALCALINES	10
1.1.4 APPAREIL DE MESURE DU pH	10
1.1.5 GERMES UTILISES	11
1.1.6 PREPARATION DES SUSPENSIONS DE GERMES	11
1.1.7 VIRUS TESTS	14
1.2 METHODES DE DETECTION DES VIRUS	16
1.2.1 TECHNIQUE DE DETECTION DU VIRUS POLIOMYELITIQUE	16
1.2.2 METHODE DE DETECTION DE HB <sub>S</sub> Ag	16
1.3 METHODES BACTERIOLOGIQUES D'ANALYSE	18
1.3.1 METHODE DE NUMERATION DES SALMONELLA	19
1.3.2 METHODE DE NUMERATION DES E. COLI	22
1.3.3 METHODE DE NUMERATION DES S. FAECALIS	23
2 DESINFECTION DES EAUX USEES PAR LA CHAUX	24
2.1 <u>ESSAI N° 1</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES ISOLEES	26
2.1.1 BUT DE L'ESSAI	26
2.1.2 PROCEDURE EXPERIMENTALE	26
2.1.3 RESULTATS	27
2.1.4 COMMENTAIRE	28

2.2	<u>ESSAI N° 2</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES ISOLEES	29
2.2.1	<i>BUT DE L'ESSAI</i>	29
2.2.2	<i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	29
2.2.3	<i>RESULTATS</i>	30
2.2.4	<i>COMMENTAIRE</i>	30
2.3	<u>ESSAI N° 3</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES ASSOCIEES AVEC E. COLI ET S. FOECALIS	33
2.3.1	<i>BUT DE L'ESSAI</i>	33
2.3.2	<i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	33
2.3.3	<i>RESULTATS</i>	34
2.3.4	<i>COMMENTAIRE</i>	34
2.4	<u>ESSAI N° 4</u> - INACTIVATION DU VIRUS POLIO ET HB <sub>S</sub> Ag	39
2.4.1	<i>BUT DE L'ESSAI</i>	39
2.4.2	<i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	39
2.4.3	<i>RESULTATS</i>	41
2.4.4	<i>COMMENTAIRE</i>	41
2.5	DISCUSSIONS	42
3	DESINFECTION DES EAUX USEES PAR LA SOUDE	45
3.1	<u>ESSAI N° 1</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES ISOLEES PAR ACTION DE LA SOUDE	47
3.1.1	<i>BUT DE L'ESSAI</i>	47
3.1.2	<i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	47
3.1.3	<i>RESULTATS</i>	48
3.1.4	<i>COMMENTAIRE</i>	49
3.2	<u>ESSAI N° 2</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES PAR LA SOUDE	51
3.2.1	<i>BUT DE L'ESSAI</i>	51
3.2.2	<i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	51
3.2.3	<i>RESULTATS</i>	51
3.2.4	<i>COMMENTAIRE</i>	52

	Pages
3.3 <u>ESSAI N° 3</u> - INACTIVATION DES SALMONELLES, E. COLI ET S. FAECALIS PAR LA SOUDE	53
3.3.1 <i>BUT DE L'ESSAI</i>	53
3.3.2 <i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	53
3.3.3 <i>RESULTATS</i>	54
3.3.4 <i>COMMENTAIRE</i>	54
3.4 <u>ESSAI N° 4</u> - INACTIVATION DU VIRUS POLIO ET HB <sub>S</sub> Ag	59
3.4.1 <i>BUT DE L'ESSAI</i>	59
3.4.2 <i>PROCEDURE EXPERIMENTALE</i>	59
3.4.3 <i>RESULTATS</i>	60
3.4.4 <i>COMMENTAIRE</i>	61
3.5 DISCUSSIONS	62
4 EFFETS COMPARES DE LA CHAUX ET DE LA SOUDE SUR L'ELIMINATION DES MICROORGANISMES	67
4.1 TEMPS DE CONTACT AUX DIFFERENTS pH, NECESSAIRE POUR OBTENIR 100 % D'ELIMINATION DES MICROORGANISMES	67
4.2 DISCUSSION DES RESULTATS DE LA DESINFECTION DES EAUX USEES PAR LA CHAUX ET LA SOUDE	68

## TABLEAUX

### - DESINFECTION DES EAUX USEES PAR LA CHAUX

n° 1 ... <i>ESSAI N° 1</i> : INACTIVATION DES SALMONELLES PAR ACTION DE LA CHAUX - METHODE PAR ENRICHISSEMENT	28
n° 2.a.. <i>ESSAI N° 2</i> : INACTIVATION DES SALMONELLES PAR ACTION DE LA CHAUX - METHODE DU NOMBRE LE PLUS PROBABLE	31
n° 2.b.. POURCENTAGES D'ABATTEMENT DE SALMONELLES PAR LA CHAUX A pH 11 ET 11,5 EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	31
n° 3.a.. <i>ESSAI N° 3</i> : INACTIVATION DES SALMONELLA, E. COLI, S. FOECALIS PAR ACTION DE LA CHAUX	35
n° 3.b.. POURCENTAGES D'ABATTEMENT DE E. COLI A LA CHAUX A DIFFERENTS pH EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	36
n° 3.c.. POURCENTAGES D'ABATTEMENT DE S. FOECALIS A LA CHAUX A DIFFERENTS pH EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	36



	Pages
n° 4 ... <i>ESSAI N° 4</i> : INACTIVATION PAR LA CHAUX DU VIRUS POLIOMYELITIQUE ET DE L'ANTIGENE DE SURFACE DE L'HEPATITE B APRES 4 HEURES DE TEMPS DE CONTACT	42
 <u>- DESINFECTION DES EAUX USEES PAR LA SOUDE</u>	
n° 1.a <i>ESSAI N° 1</i> : INACTIVATION DES SALMONELLES PAR ACTION DE LA SOUDE	48
n° 1.b POURCENTAGES D'ABATTEMENT DES SALMONELLES A LA SOUDE A pH ALCALIN EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	49
n° 2 <i>ESSAI N° 2</i> : INACTIVATION DES SALMONELLES PAR ACTION DE LA SOUDE A pH ALCALIN - NUMERATION PAR LE NOMBRE LE PLUS PROBABLE	52
n° 3.a <i>ESSAI N° 3</i> : INACTIVATION DES SALMONELLA, E. COLI, S. FOECALIS PAR ACTION DE LA SOUDE	55
n° 3.b POURCENTAGES D'ABATTEMENT DE E. COLI A LA SOUDE A DIFFERENTS pH EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	56
n° 3.c POURCENTAGES D'ABATTEMENT DE S. FOECALIS A LA SOUDE A DIFFERENTS pH EN FONCTION DU TEMPS PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7	56
n° 4 <i>ESSAI N° 4</i> : INACTIVATION PAR ACTION DE LA SOUDE DU VIRUS POLIOMYELITIQUE ET DE L'ANTIGENE DE SURFACE DE L'HEPATITE B APRES 4 H DE TEMPS DE CONTACT	61

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA DÉSINFECTION DES EAUX USÉES PAR LA CHAUX ET LA SOUDE  
ESSAIS EN LABORATOIRE

*(EAUX USEES URBAINES)*

# PLAN

	Pages
1 METHODOLOGIE GENERALE DES ESSAIS	73
1.1 MATERIEL	73
1.1.1 EAUX USEES URBAINES	73
1.1.2 pH DES ESSAIS	74
1.1.3 SOLUTIONS ALCALINES	74
1.1.4 GERMES TESTES	74
1.2 METHODES BACTERIOLOGIQUES D'ANALYSE	75
1.2.1 METHODE DE RECHERCHE DES SALMONELLES	76
1.2.2 METHODE DE NUMERATION DES COLIFORMES FECAUX	76
1.2.3 METHODE DE NUMERATION DES STREPTOCOQUES FECAUX	77
2 LES ESSAIS DE DESINFECTIONS DES EAUX USEES URBAINES PAR LA CHAUX ET LA SOUDE	78
2.1 BUT DE CES ESSAIS	78
2.2 PROCEDURE EXPERIMENTALE	78
2.3 RESULTATS	79
2.4 COMMENTAIRES	83
2.5 CONCLUSION	89

## TABLEAUX

n° 1.a	INACTIVATION DES BACTERIES FECALES D'UNE EAU USEE URBAINE PAR ACTION DE LA CHAUX	80
n° 1.b	POURCENTAGES D'ABATTEMENT DES COLIFORMES FECAUX, S. FOECALIS, S. FOECIUM, A LA CHAUX A DIFFERENTS pH PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7 AU TEMPS 0	81

n° 2.a	INACTIVATION DES BACTERIES FECALES D'UNE EAU USEE URBAINE PAR ACTION DE LA SOUDE	84
n° 2.b	POURCENTAGES D'ABATTEMENT DES COLIFORMES FECAUX, S. FOECALIS S. FOECIUM, A LA SOUDE A DIFFERENTS pH, PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE GERMES PRESENTS A pH 7 AU TEMPS 0	85

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA DÉSINFECTION DES EAUX USÉES PAR LA CHAUX ET LA SOUDE  
ASSOCIÉE À UNE FLOCCULATION-DÉCANTATION  
ESSAIS EN LABORATOIRE  
(*EAUX USEES URBAINES*)

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE DE L'INACTIVATION DES PARTICULES VIRALES  
DANS LE PROCESSUS DE FLOCCULATION-DÉCANTATION À PH ALCALIN  
ESSAIS EN LABORATOIRE  
(EAU USEE SYNTHETIQUE)

## PLAN

	Pages
1 METHODOLOGIE GENERALE DES ESSAIS	122
1.1 MATERIEL	122
1.1.1 VERRERIE UTILISEE	122
1.1.2 EAU USEE SYNTHETIQUE	122
1.1.3 SOLUTIONS ALCALINES ET pH DES ESSAIS	122
1.1.4 COAGULANT MINERAL	123
1.1.5 PARTICULES VIRALES TESTS	123
1.2 METHODES DE DETECTION DES VIRUS	123
2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL DES ESSAIS DE FLOCCULATION A pH ALCALIN	124
2.1 PROCEDURE EXPERIMENTALE	124
2.2 PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS D'EAUX ET DE FLOCS	125
3 RESULTATS	126

### TABLEAUX

n° 1	INACTIVATION DU VIRUS POLIOMYELITIQUE TYPE 2 PAR FLOCCULATION DES EAUX USEES SYNTHETIQUES AU SULFATE D'ALUMINE A pH ALCALIN (CHAUX ET SOUDE)	127
n° 2	INACTIVATION DE L'ANTIGENE DE SURFACE DE L'HEPATITE B (HB <sub>S</sub> Ag) PAR FLOCCULATION DES EAUX USEES SYNTHETIQUES AU SULFATE D'ALUMINE A pH ALCALIN (CHAUX ET SOUDE)	129

## CINQUIEME PARTIE

### LES ESSAIS PILOTES

- I - ÉTUDE DE LA DÉSINFECTION DES EAUX USÉES À pH ÉLEVÉ  
SUR UNE STATION PILOTE EXPÉRIMENTALE
  
- II - DÉSINFECTION DES EAUX USÉES PAR PRÉCIPITATION  
DES CARBONATES DE CALCIUM



# P L A N

	Pages
I - ÉTUDE DE LA DÉSINFECTION DES EAUX USÉES À PH ÉLEVÉ SUR UNE STATION PILOTE EXPÉRIMENTALE	134
1 METHODOLOGIE GENERALE DES ESSAIS	135
1.1 MATERIEL	135
1.1.1 LES INSTALLATIONS PILOTES	135
1.1.2 EAUX USEES	137
1.1.3 SOLUTIONS ALCALINES	138
1.1.4 pH DES ESSAIS	138
1.1.5 GERMES TESTES	138
1.1.6 COAGULANT MINERAL	139
1.1.7 FLOCULANT MACROMOLECULAIRE	139
1.2 METHODES BACTERIOLOGIQUES D'ANALYSE	140
1.2.1 RECHERCHE ET IDENTIFICATION DES SALMONELLES	140
1.2.1.1 Recherche et identification dans les eaux	140
1.2.1.2 Recherche et identification dans les boues	143
1.2.2 RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES COLIFORMES FECAUX	144
1.2.3 RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES STREPTOCOQUES FECAUX	145
2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL DES ESSAIS DE DESINFECTION SUR PILOTE	145
2.1 PREALABLES OPERATOIRES	145
2.2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL PROPREMENT DIT	146
2.2.1 PRESENTATION DES ESSAIS	146
2.2.2 MISE EN OEUVRE DES ESSAIS	148
2.2.2.1 Echantillonnage pour la recherche des Salmonelles	149
2.2.2.2 Echantillonnage pour la recherche des Coliformes et Streptocoques fécaux	150
3 RESULTATS	151

	Pages
4 COMMENTAIRES	158
4.1 SUR L'INACTIVATION DES SALMONELLES	158
4.2 SUR L'INACTIVATION DES COLIFORMES ET STREPTOCOQUES FECAUX	159
5 CONCLUSIONS	160

## TABLEAUX

n° 1 ... INACTIVATION DES SALMONELLES PAR FLOCCULATION DES EAUX USEES A pH ELEVE .....	153
n° 2 ... DENOMBREMENTS PAR LITRE DES GERMES FECAUX A L'ENTREE ET A LA SORTIE DU PILOTE AU COURS DES DIFFERENTS ESSAIS DE FLOCCULATION	154
n° 3 ... POURCENTAGES DE REDUCTION DES COLIFORMES ET STREPTOCOQUES FECAUX APRES CHACUN DES TRAITEMENTS DE DESINFECTION	155
n° 4 ... POURCENTAGES DE REDUCTION DES GERMES FECAUX APRES DESINFECTION A pH ELEVE PAR RAPPORT A LA QUANTITE DE CES GERMES PRESENTS DANS L'EFFLUENT TRAITÉ DU TEMOIN DE FLOCCULATION A pH 7	155
n° 5 ... DENOMBREMENTS (PAR LITRE) DES GERMES FECAUX AU COURS DE LA MISE EN ROUTE DU TRAITEMENT DE DESINFECTION ET APRES TRAITEMENT (ESSAI N° 6 : Soude pH 11 + A <sub>41</sub> + SA)	156
n° 6 ... POURCENTAGES DE REDUCTION DES COLIFORMES ET STREPTOCOQUES FECAUX AU COURS DE LA MISE EN ROUTE DU TRAITEMENT DE DESINFECTION ET APRES TRAITEMENT (ESSAI N° 6 : Soude pH 11 + A <sub>41</sub> + SA)	157

	Pages
II - DÉSINFECTION DES EAUX USÉES PAR PRÉCIPITATION DES CARBONATES DE CALCIUM	162
1 METHODOLOGIE GENERALE DES ESSAIS	164
1.1 MATERIEL	164
1.1.1 APPAREILLAGE UTILISE	164
1.1.2 EAUX USEES	164
1.1.3 SOLUTION DE CHAUX	165
1.1.4 BACTERIES TESTS	165
1.2 METHODES BACTERIOLOGIQUES D'ANALYSE	166
1.2.1 NUMERATION DE LA FLORE MICROBIENNE CULTIVANT A 30°	166
1.2.2 RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES COLIFORMES	166
1.2.3 RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES STREPTOCOQUES FECAUX	167
1.2.4 RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES SALMONELLES	168
2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL DE LA DESINFECTION PAR PRECIPITATION DES CARBONATES DE CALCIUM	169
3 RESULTATS	170
4 COMMENTAIRES	173
5 CONCLUSION	173

### TABLEAUX

n° 1 ... DENOMBREMENTS BACTERIENS PAR 100 ml AVANT ET APRES PRECIPITATION DES CARBONATES DE CALCIUM .....	171
n° 2 ... POURCENTAGES DE REDUCTION DES BACTERIES APRES PRECIPITATION DES CARBONATES DE CALCIUM .....	172

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées offrent un large éventail d'utilisation notamment en ce qui concerne leur emplacement sur les zones côtières, où l'énorme pouvoir tampon de la mer peut permettre d'accepter des rejets de haute salinité.

Du point de vue de la qualité microbiologique des effluents, les traitements à pH élevé laissent espérer une diminution des risques liés à l'utilisation de ces eaux. Toutefois il est à noter que ceux-ci ne sont pas totalement exclus, notamment en ce qui concerne les espèces les plus résistantes.

La réduction du nombre de germes est significative à partir du pH 11, les rendements s'accroissent sensiblement pour un pH égal à 11,5 ; de même que les temps de contact peuvent être écourtés en utilisant cette dernière valeur de pH.

L'addition d'adjuvants de coagulation et de floculation permet d'améliorer la qualité des rejets.

En effet, la formation des floccs permet de fixer une partie importante des micro-organismes qui seront sédimentés par la suite durant la phase de décantation.

Dans le cas présent, on assiste à l'association des phénomènes de fixation bactérienne par les floccs et d'inactivation par action du pH.

Les essais en laboratoire représentent une étape préliminaire importante dans l'étude des procédés de désinfection, mais il faut considérer les résultats obtenus avec prudence. En effet, d'une part les micro-organismes cultivés en laboratoire qui servent à l'expérimentation sont plus sensibles aux variations auxquelles ils sont soumis, d'autre part une extrapolation avec les conditions réelles est parfois hasardeuse.

Les expérimentations sur des installations pilotes sont à un certain niveau plus proches des conditions réelles notamment en ce qui concerne la conception des réacteurs et les épreuves en continu sur des eaux usées réelles. Mais dans une étude plus approfondie, les essais en grandeur réelle représentent la solution idéale pouvant permettre de disséquer tous les problèmes et d'optimiser les rendements d'épuration.

Les résultats des examens microbiologiques peuvent davantage faire l'objet d'une comparaison avec ceux des autres chercheurs et d'une critique objective, si ceux-ci sont effectués selon des méthodes donnant une réponse fiable et répétitive.

L'élimination des bactéries par la précipitation des carbonates de calcium telle que nous l'avons utilisée est, selon les résultats obtenus, une méthode de désinfection peu efficace. Nous pensons que les temps de contact entre les germes et le pH alcalin sont insuffisants pour créer une inactivation satisfaisante. De même l'élimination de la turbidité n'est pas très élevée, ce qui induit la présence dans les surnageants d'une concentration importante de germes fixés sur les matières en suspension.

A partir de toutes ces observations à propos des divers procédés que nous avons utilisés, en vue de la désinfection des eaux usées, nous avons émis l'idée, pouvant être développée dans des recherches futures, de la combinaison des processus de floculation à pH élevé et de la précipitation des carbonates de calcium.

Le traitement pourrait être effectué en faisant dans un premier temps une floculation à la chaux à pH 11 ou 11,5 avec ou sans adjuvants, avec des temps de contact plus élevés (30 mn environ), dans un deuxième temps en précipitant les carbonates de calcium par injection de gaz carbonique, entraînant ainsi la pollution microbienne résiduelle ayant survécu à l'action du pH.

Enfin, dans une troisième phase, le traitement des boues par incinération permettra la récupération en grande partie de la chaux en même temps que la production de gaz carbonique qui peut être réutilisé. De plus ce traitement par la chaleur aura complété de manière efficace la stérilisation des boues.