UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CARACTÉRISATION DE L'ENLÈVEMENT DU CARBONE ORGANIQUE ASSIMILABLE DANS DES FILTRES AU CHARBON ACTIF BIOLOGIQUE

PAR

ALAIN GADBOIS

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES APPLIQUÉES (M.Sc.A)
(ENVIRONNEMENT)

MARS 1990

c Alain Gadbois 1990

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Canadian Theses Service
Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-58116-6

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

CARACTÉRISATION DE L'ENLEVEMENT DU CARBONE ORGANIQUE ASSIMILABLE DANS DES FILTRES AU CHARBON ACTIF BIOLOGIQUE

présenté par Alain Gadbois
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences Appliquées (M.Sc.A).
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. François Brière, M.E. (Harvard), président
M. Raymond Desjardins, M.Ing.
M. Pierre Lafrance, M.Sc.A.

SOMMAIRE

Cette étude a pour but de caractériser la formation et l'enlèvement du carbone organique assimilable (COA) lors des étapes d'ozonation et de filtration sur charbon actif biologique à l'usine de production d'eau potable Ste-Rose, Ville de Laval. Les méthodes de détermination du COA étant en développement, l'étude a également pour but de vérifier l'applicabilité des trois méthodes d'analyse suivantes: van der Kooij, Billen-Servais (procédures à l'épifluorescence et par différence de carbone organique dissous (COD), et Joret-Lévi.

Lors de la mise en application de chacune de ces méthodes, des contaminations importantes ont été identifiées et, si possible, éliminées. La méthode Joret-Lévi a dû être abandonnée à cause de celles-ci.

Des mesures de COA ont été réalisées sur des échantillons d'eau provenant des étapes d'ozonation et de filtration sur charbon actif biologique entre les mois d'octobre 1988 et février 1989 par les méthodes van der Kooij et Billen-Servais.

Le suivi par épifluorescence de la méthode Billen-Servais apparaît long et fastidieux. Son utilisation présente des imprécisions majeures, rendant douteuse l'interprétation des résultats d'analyse.

La précision des mesures de COA est de 0,10 mg/L par la procédure de différence de COD et de 0,03 mg/L pour la méthode van der Kooij. Par ailleurs, l'utilisation de la méthode van der Kooij à l'aide de la seule souche bactérienne Pseudomonas fluorescens P17 sous-estime les valeurs de COA alors que le suivi par différence de COD permet une meilleure compréhension de l'évolution du COA lors des divers procédés de traitement en usine. L'utilisation des différentes méthodes a permis d'obtenir les informations suivantes:

- les mesures de COA s'obtiennent après un temps d'incubation relativement lent, variant entre 3 à 30 jours;
- l'ozonation transforme en COA de 6 à 25% du carbone organique réfractaire, sans réduction du COD. Cette oxydation est plus importante en saison chaude qu'en été;
- la filtration sur charbon actif biologique demeure efficace, même en hiver, pour l'enlèvement du COA produit par l'ozonation et pour l'enlèvement d'une partie du carbone réfractaire;
- sans modifier leur efficacité globale, le lavage des filtres à charbon actif biologique a toutefois pour effet de modifier les types de molécules enlevées jusqu'à 40 heures après leur remise en fonctionnement;
- aucune différence statistiquement significative d'enlèvement du COA en hiver n'est apparue entre deux filtres - opérant depuis 450 et 1340 jours.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the formation and removal of assimilable organic carbon (AOC) by the ozonation step and by the biological active carbon filters (BAC) at St.Rose water treatment plant, Ville de Laval. Methods of AOC determination are in development. In first, this study evaluates the applicability of three bioessays: van der Kooij, Billen-Servais (by epifluorescence microscopy and DOC difference), and Joret-Lévi.

Carbone contaminations must be identified and eliminated. The Joret-Lévi method was given up because of uncontrolled carbon contaminations.

AOC measurements of ozonation and BAC filters was performed by van der Kooij and Billen-Servais methods between October 1988 and February 1989. The epifluorescence technic was found long and boring to perform. Several imprecisions do not allow good interpretation of results. The precision of the determination of the AOC by the DOC difference is 0,10 mg/L and 0,03 mg/L for the van der kooij method. When using the Pseudomonas fluorescens, strain P17 bacterial strain, the van der Kooij method underestimates the concentration of the AOC. The DOC difference technic gives better interpretation of the AOC

through the treatment plant steps. Their application give the following informations:

- AOC determination needs 3 to 30 days to be performed;
- ozonation transforms 6 to 25% of refractory organic carbons in assimilable organic carbon without reduction of DOC contain;
- BAC filters are effective, even in winter, for the reduction of AOC initially formed by ozonation;
- backwashing of bed filter influences the removal of AOC and refractory carbon. Therefore, global efficiency seems to remain constant;
- no efficiency difference in AOC removal was found between two BAC filters during winter filtration - one has been filtered since 450 days and other since 1340 days.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, en premier lieu, les organismes suivants pour l'aide financière accordée sous forme de bourses d'études supérieures: le Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada, l'Association des Diplômés de Polytechnique, les Fonds pour la Formation de Chercheurs et l'Aide à la Recherche, et Gendron Lefebvre, Consultants. Je désire souligner l'importante collaboration du service de l'Environnement de Ville de Laval dans la réalisation de cette étude.

Je remercie également, pour leur aide et leurs conseils, Monsieur Raymond Desjardins, professeur agrégé, qui a dirigé mes travaux, Madame Michèle Prévost, directrice R & D Environnement, Gendron Lefebvre, Consultants, Madame Josée Coallier, microbiologiste, Gendron Lefebvre, Consultants, Monsieur Daniel Duchesne, chimiste, laboratoire du service de l'Environnement, Ville de Laval, Madame Catherine Poirier, technicienne de laboratoire, Gendron Lefebvre, Consultants, et Madame Jascinthe Mailly, biologiste, Gendron Lefebvre, Consultants.

Je tiens à remercier également Madame Jacqueline Phaneuf pour la dactylographie et la mise en page de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

PAGE

SOMMAIRE IV

ABSTRACT VI

REMERCIEMENTS VIII

LISTE DES TABLEAUX XV

LISTE DES FIGURES XVIII

LISTE DES SYMBOLES XXI

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION 1

CHAPITRE 2 - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 4

2.1 Recroissance bactérienne dans le réseau de distribution d'eau potable 4

2.1.1 Impact de la recroissance bactérienne 4

2.1.2 Désinfection au chlore 5

2.1.3 Abattement du carbone 7

2.2 Mesure du carbone organique 8

2.2.1 Analyse chimique du carbone organique 8

2.2.2 Mesure du carbone organique assimilable par descripteur unique 9

2.2.2.1 COD, COT 9

2.2.2.2 Demande en chlore 9

2.2.2.3 Bioessais 9

PAGE

2.3 Méthodes d'évaluation du carbone organique assimilable . . . 10
2.3.1 Méthode van der Kooij 10
2.3.2 Méthode Werner 12
2.3.3 Méthode Stanfield et Jago 15
2.3.4 Méthode Billen-Servais 16
2.3.5 Méthode Joret-Lévi 18
2.3.6 Méthode de l'Université de Cardiff 19
2.4 Effet du traitement sur le carbone organique assimilable . . 20
2.4.1 Ozonation 20
2.4.2 Filtration sur charbon actif biologique. 22
CHAPITRE 3 - MATÉRIEL ET MÉTHODE 23
3.1 Description de l'usine de Ste-Rose (Ville de Laval) 23
3.1.1 Chaîne de traitement d'eau potable de Ste-Rose 23
3.1.2 Les filtres à charbon actif biologique 23
3.1.3 Caractéristiques de fonctionnement des filtres au charbon actif biologique 26
3.1.4 Lavage des filtres au charbon actif biologique 26
3.2 Échantillonnage 28
3.2.1 Description du dispositif d'échantillonnage des filtres au charbon actif biologique 28
3.2.2 Prélèvements 29
3.3 Méthodes d'analyse 29
3.3.1 Mesure du carbone organique dissous (COD). 29

PAGE

3.3.2 Carbone organique assimilable

- Méthode Billen-Servais 30

3.3.2.1 Échantillons 31

3.3.2.2 Préparation de la vaisselle 31

3.3.2.3 Inoculation 31

3.3.2.4 Incubation 32

3.3.2.5 Suivi analytique 32

3.3.2.5.1 Différence de carbone organique dissous . . 32

3.3.2.5.2 Calcul de la biomasse à l'épifluorescence 33

3.3.2.6 Types de membranes filtrantes 37

3.3.3 Carbone organique assimilable

- Méthode van der Kooij 38

3.3.3.1 Préparation du sous-inoculum 38

3.3.3.2 Préparation de l'inoculum (préculture) . . 38

3.3.3.3 Détermination du Y à l'aide d'une courbe étalon 39

3.3.3.3.1 Méthode de mesure du Nmax 39

3.3.3.3.2 Méthodes préliminaires 40

3.3.3.4 Préparation des échantillons 41

3.3.3.5 Obtention du nombre maximal de colonies . . 42

3.3.3.6 Calcul du carbone organique assimilable . . 43

3.3.3.7 Lavage de la verrerie 43

PAGE

3.3.4 Carbone organique assimilable

- Méthode Joret-Lévi 43

3.3.4.1 Échantillons 44

3.3.4.2 Inoculum 44

3.3.4.3 Traitement du milieu fixeur 44

3.3.4.4 Incubation 46

3.3.4.5 Lavage de la verrerie 47

3.3.5 Azote ammoniacal 47

3.3.6 Mesure des caractéristiques de fonctionnement 47

3.4 Analyses statistiques 47

CHAPITRE 4 - RÉSULTATS 49

4.1 Campagnes d'échantillonnage 49

4.2 Méthode Billen-Servais 51

4.2.1 Contamination en carbone

par les membranes filtrantes 51

4.2.1.1 Rinçage à l'eau d'échantillon 51

4.2.1.2 Rinçage à l'eau MilliQ 52

4.2.2 Carbone organique assimilable - Procédure de

différence de carbone organique dissous 53

4.2.2.1 Campagnes d'échantillonnage du 6 juin

et du 22 août 1988 53

4.2.2.2 Campagnes d'échantillonnage

du 20 octobre 1988 au 28 février 1989 . . . 58

4.2.2.3 Effets de l'ozonation 63
4.2.2.4 Effets du lavage des filtres 64
4.2.2.5 Effets de la profondeur du milieu filtrant 64
4.2.2.6 Comparaison des concentrations de COA entre les filtres CAB 2-G et CAB 5-D 68
4.2.3 Carbone organique assimilable - Épifluorescence . . . 69
4.2.3.1 Échantillonnage du 20 octobre 1988 69
4.2.3.2 Échantillonnage du 7 décembre 1988 73
4.3 Carbone organique assimilable - Méthode van der Kooij 80
4.3.1 Contamination en carbone 80
4.3.2 Détermination du coefficient de croissance (Y) de P17 80
4.3.3 Campagnes du 20 octobre 1988 au 28 février 1989 . . . 86
4.3.3.1 Profils du carbone organique assimilable dans les filtres CAB 2-G et 5-D 86
4.3.3.2 Comparaison des COA entre les filtres CAB 2-G et 5-D 92
4.3.3.3 Obtention du nombre maximal de colonies . . 92
4.4 Comparaison du carbone organique assimilable - Méthodes Billen-Servais et van der Kooij 94
4.5 Carbone organique assimilable - Méthode Joret-Lévi 97

CHAPITRE 5 - DISCUSSIONS 101

5.1 Mise au point des méthodes 101

5.1.1. Méthode Billen-Servais 101

5.1.1.1 COA - Différence de COD 101

5.1.1.2 COA - Épifluorescence 101

5.1.2 Méthode van der Kooij 116

5.1.3 Méthode Joret-Lévi 121

5.2 Profils de carbone organique assimilable, méthodes van der Kooij et Billen-Servais (différence de carbone organique dissous) 123

5.2.1 Effets de l'ozonation 123

5.2.2 Effet de la filtration sur charbon actif biologique . 125

CHAPITRE 6 - CONCLUSION 131

6.1 Mise au point des méthodes 131

6.2 Ozonation et filtration sur charbon actif biologique 134

BIBLIOGRAPHIE 137

ANNEXE 1 : Résultats bruts 148

ANNEXE B : Liste de matériel 191

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU #		PAGE
3.1	Caractéristiques du charbon actif	27
3.2	Conditions d'opération des filtres CAB de l'usine Ste-Rose - juin 1988 à mars 1989	27
3.3	Membranes utilisées dans la mesure du carbone organique assimilable - Méthode Billen-Servais	37
3.4	Eau physiologique	39
3.5	Exemple de détermination du Nmax	42
3.6	Conditions expérimentales des essais selon la méthode Joret-Lévi	45
3.7	Tests statistiques utilisés pour l'analyse des données expérimentales	48
4.1	Eaux analysées et méthodes de mesure du COA employées	50
4.2	Conditions lors des échantillonnages	50
4.3	COD contenu dans les filtrats après lavage à l'eau effluent CAB de membranes 0,2 µm en polycarbonate . . .	52
4.4	Résultats des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute et d'eau ozonée, méthode de différence du COD, échantillons du 88-06-08	54
4.5	Résultats des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute, d'eau ozonée et de l'effluent CAB 6-G, méthode de différence du COD, échantillons du 88-08-22	55
4.6	Vérification de la similitude des COD entre deux bouteilles d'incubation. Test de Wilcoxon pour échantillons appariés, α= 0,05	58
4.7	Concentrations de COA, de COR et de COD d'échantillons prélevés du 20 octobre 1988 au 28 février 1989	59
4.8	Analyse des enlèvements de COA selon les couches du milieu filtrant, test de Fisher PLSD α= 0,05	67

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU #		PAGE
4.9	Concentrations moyennes de COA selon différents temps d'incubation pour des eaux filtrées SA et CAB 2-G (procédures par épifluorescence et par différence de COD, 88-10-20)	72
4.10	Dimensions et volume bactérien mesuré à l'épifluorescence, 88-12-07	75
4.11	Résultats du COA, de l'azote et du phosphore initiaux pour les eaux effluent SA et CAB-5D, épifluorescence, 88-12-07	78
4.12	Colonies maximales (Nmax) de P17 selon diverses concentrations en acétate - essais nos 1 à 4	81
4.13	Nmax de P17 selon les concentrations en acétate, série no 5	82
4.14	Colonies maximales de P17, essai no 6	83
4.15	Comparaison des 4 échantillonnages, 88-10-20 au 88-02-28, méthode van der Kooij	88
4.16	Analyse de variance des COA selon les couches du milieu filtrant des CAB. Test de Fisher PLST et de l'effluent du filtre SA	91
4.17	Résultats des COD mesurés et des COA calculés, méthode Joret	98
4.18	Analyse de COD pour les différents essais, méthode Joret	100
5.1	Erreur sur les biovolumes associés aux dimensions bactériennes	107
A-1	Résultats COD du 8 au 16 juin 1988, eau brute et eau ozonée, méthode de différence de COD	148
A-2	Résultats de l'échantillonnage du 22 août 1988, méthode de différence de COD	148

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU #		PAGE
A-3	Résultats des différences de COD, 10 octobre 1988 au 28 février 1989	149
A-4	Résultats de l'épifluorescence, F2-G, 88-10-20	152
A-5	Résultats de l'épifluorescence, F5-D, 88-12-07	161
A-6	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F2-G et SA, 88-10-20	174
A-7	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F2-G, 88-12-12	176
A-8	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F5-D, 88-12-12	178
A-9	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, SA, 88-12-12	180
A-10	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F2-G, 89-01-17	181
A-11	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F5-D, 89-01-17	183
A-12	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, SA, 89-01-17	185
A-13	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, Filtre 2-G, 89-02-28	186
A-14	Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, Filtre 5-D, 89-02-28	188

LISTE DES FIGURES

FIGURE #		PAGE
2.1	Produit MX	6
2.2	Méthode de Werner. Résultats hypothétiques	14
3.1	Diagramme d'écoulement de l'usine de production d'eau potable Ste-Rose (Laval)	24
3.2	Schéma d'identification des baies filtrantes des CAB à l'usine Ste-Rose	25
4.1	COD moyen du filtrat après lavage à l'eau MilliQ des membranes 0,2 µm en polycarbonate	53
4.2	Évolution des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute et d'eau ozonée, méthode de différence du COD, échantillons du 88-06-08	54
4.3	Évolution des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute, d'eau ozonée et de l'effluent CAB 6-G, méthode de différence du COD, échantillons du 88-08-22	55
4.4	Profils du carbone organique, filtre CAB 2-G 20 octobre 1988 au 17 janvier 1989	60
4.5	Profils du carbone organique, filtre CAB 5-D 7 décembre 1988 au 28 février 1989	61
4.6	Profils comparés du COA du 7 et 12 décembre 1988, filtres CAB 2-G et 5-D	65
4.7	Courbes d'évolution de la biomasse, affuent CAB 2-G, 88-10-20	70
4.8	Profils du COD selon le temps d'incubation, affluent CAB 2-G, 88-10-20	74
4.9	Courbes d'évolution de la biomasse, filtres CAB 5-D, affluent, effluent et 15 cm sous la surface, 88-12-07 . .	76
4.10	Évolution du rapport surface/volume des bactéries lors de l'incubation, eaux du filtre CAB 5-G et effluent SA - mesure à l'épifluorescence - 88-12-07 . . .	79

LISTE DES FIGURES

FIGURE #		PAGE
4.11	Profils de croissance de P17 dans l'eau MilliQ avec ou sans sels physiologiques	84
4.12	Détermination du coefficient de croissance Y de P17 selon les essais no 6 et no 7	85
4.13	Profils de COA dans les filtres CAB 2-G et CAB 5-D, méthode van der Kooij, souche P17	87
4.14	Courbe de croissance de P17. Filtre CAB 2-G, 15 cm, sous la surface du filtre, 88-12-12	93
4.15	Fréquence d'apparition des temps d'incubation des Nmax	93
4.16	Profils comparés du COA selon deux calculs des Nmax, méthode van der Kooij, CAB 5-D, 88-12-12	93
4.17	Profils comparés du COA, filtre 2-G, méthodes Billen-Servais (différence de COD) et van der Kooij	95
4.18	Profils comparés des COA. Filtre CAB 5-D, méthodes Billen-Servais (différence de COD) et van der Kooij	96
A.1	Évolution de la biomasse lors de l'incubation, SA-A et SA-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	168
A-2	Évolution de la biomasse lors de l'incubation, AFF-A et AFF-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	168
A-3	Évolution de la biomasse lors de l'incubation, 15 cm-A et 15 cm-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	169
A-4	Évolution de la biomasse lors de l'incubation 80 cm-A et 80 cm-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	169
A-5	Évolution de la biomasse lors de l'incubation, 140 cm-A et 140 cm-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	170
A-6	Évolution de la biomasse lors de l'incubation, eff-A et Eff-B, F2-G, épifluorescence, 88-10-20	170
A-7	Évolution de la biomasse lors de l'incubation SA-A et SA-B, F5-D, épifluorescence, 88-12-12	171

LISTE DES FIGURES

FIGURE # PAGE

A-8 Évolution de la biomasse lors de l'incubation, AFF-A et AFF-B, épifluorescence, 88-12-12 171

A-9 Évolution de la biomasse lors de l'incubation 5 cm-A et 15 cm-B, épifluorescence, 88-12-12 172

A-10 Évolution de la biomasse lors de l'incubation, 80 cm-A et 80 cm-B. F5-D, épifluorescence, 88-12-12 172

A-11 Évolution de la biomasse lors de l'incubation, 140 cm-A et 140 cm-B, épifluorescence, 88-12-12 173

A-12 Évolution de la biomasse lors de l'incubation, eff-A et eff-B, épifluorescence, 88-12-12 173

LISTE DES SYMBOLES

SYMBOLE	DESCRIPTION
AO	acridine orange
ATP	adénosine triphosphorique
BHA	bactéries hétérotrophes autonomes
CAB	charbon actif biologique (filtre au)
COA	carbone organique assimilable
COD	carbone organique dissous
COD_{tf}	carbone organique dissous à temps final
COD_{ti}	carbone organique dissous à temps initial
COR	carbone organique réfractaire
COT	carbone organique total
kd	coefficient de mortalité
ks	constante de Michaelis-Menten
Nmax	nombre maximum de colonies
SA	sable anthracite (filtre au)
SBA	sable biologiquement actif
t_f	temps final
THM	trihalométhane
t_o	temps initial
TOX	composés halogènes totaux
UFC	unité formatrice de colonies
Y	coefficient de croissance
μ	taux de croissance
μm	taux de croissance maximal

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

La qualité de l'eau potable produite aux usines de traitement et sa distribution par un réseau complexe jusqu'au consommateur préoccupe de plus en plus les citoyens et les gestionnaires de cette industrie. Des efforts importants sont présentement mis en oeuvre pour mieux comprendre les mécanismes de recroissance bactérienne dans les réseaux de distribution. Ces recroissances, même imperceptibles, pourraient avoir des effets sur la santé. Leur contrôle traditionnel par le maintien d'une concentration résiduelle élevée de désinfectant (le chlore en particulier) présente des inconvénients majeurs tels que la production de goûts et d'odeurs et la formation de sous-produits indésirables comme les trihalométhanes (THM) dont le potentiel cancérigène exige d'autres solutions. L'abattement des molécules carbonées présentes dans l'eau avant sa désinfection est une avenue des plus prometteuses: cela entraînerait la réduction de la demande en chlore ainsi que celle des matières dont se nourissent les bactéries. Une utilisation moindre de désinfectant peut réduire la production des sous-produits et diminuer les goûts et odeurs de l'eau traitée.

L'usine de traitement d'eau Ste-Rose à Ville de Laval est équipée de filtres à charbon actif biologique (CAB) précédée d'une ozonation. Ces procédés installés après la filtration sur sable et anthracite (SA) permettent de diminuer la concentration de molécules organiques. L'évaluation de l'efficacité des filtres CAB ne peut être faite à partir de mesures de carbone organique total (COT) ou dissous

(COD). En effet, la mesure de la fraction du COT facilement assimilable par les microorganismes, soit le carbone organique assimilable (COA), est essentielle à une meilleure compréhension des processus d'enlèvement de la matière organique.

Plusieurs méthodes de mesure du COA sont présentement en développement. Le but de cette étude est de caractériser l'évolution du COA lors de l'ozonation et de la filtration sur charbon activé biologique de l'usine de Ste-Rose, en utilisant les trois méthodes de mesure du COA suivantes:

- la méthode van der Kooij qui mesure le développement maximal d'une souche microbienne pure dans des échantillons d'eau initialement pasteurisés;
- la méthode Billen-Servais qui permet l'obtention du COA par incubation d'un inoculum bactérien mixte en suspension. Des suivis de croissances bactériennes par épifluorescence et par différence de COD peuvent être utilisés;
- la méthode Joret-Lévi qui utilise l'incubation d'échantillons d'eau avec un inoculum bactérien mixte fixé sur sable.

Plus précisément, cette étude permet d'atteindre les objectifs suivants:

1) évaluation des sources d'erreurs et de la précision de chacune de ces méthodes;

2) détermination des ressources nécessaires à leur mise en oeuvre;
3) mesure du COA avant et après l'ozonation et la filtration sur charbon actif;
4) observation de l'enlèvement du COA selon la profondeur dans les filtres à charbon actif biologique;
5) détermination de l'efficacité de la filtration sur charbon actif lorsque l'eau est très froide (<5°C) pendant plusieurs mois.

CHAPITRE 2 - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Recroissance bactérienne dans le réseau de distribution d'eau potable

2.1.1 Impact de la recroissance bactérienne

La recroissance bactérienne dans un réseau de distribution d'eau potable peut entraîner une détérioration importante de la qualité de l'eau. Celle-ci est largement associée aux bactéries hétérotrophes dont certaines sont reconnues comme pathogènes opportunistes et peuvent induire le développement de microorganismes pathogènes (Kaplan et Bott, 1988). La recroissance bactérienne présente plusieurs autres effets négatifs qui ont été mentionnés par différents auteurs. Ces effets sont les suivants:

- développement d'une chaîne d'organismes supérieurs pouvant être visibles à l'oeil nu (Smalls et Greaves, 1968);
- problèmes de couleurs causés par la croissance de bactéries ferrugineuses (Lee,O'Connor et Banerji, 1980) tels que Arthrobacter spp.;
- interférence avec la numération de coliformes (LeChevallier et McFeters, 1985);
- développement des goûts et odeurs (Gerber et LeChevallier, 1965);
- attaque des scellants en caoutchouc par certaines bactéries (LeeFlang, 1962);
- amplification de la corrosion à cause de la présence de certaines bactéries sur les parois des conduites (Lee, O'Connor, et Banerji, 1980).

Puisque la possibilité de développement des bactéries croît avec le temps de résidence de l'eau dans le réseau, il faut éviter la conception de tronçons de conduite à faible débit comme ceux des rues sans issue (Kemmy, Fry et Breach, 1988). D'autre part, les nouvelles conduites de distribution ou celles qui ont subi une réparation doivent être désinfectées avec soin.

2.1.2 Désinfection au chlore

Le contrôle de la reviviscence débute à l'usine de traitement où la post-désinfection permet d'éliminer les organismes pathogènes et de maintenir une concentration résiduelle de chlore. Des taux élevés de chlore ou de chloramine réussissent à réduire le taux de bactéries hétérotrophes (BHA) et par le fait même, l'apparition de coliformes (Lisle, 1988) (Skadsen, 1988).

La chloration présente cependant des inconvénients majeurs. Des problèmes de goûts et d'odeurs y sont souvent associés. De plus, l'oxydation de composés organiques par le chlore produit des substances indésirables tel que:

- les trihalométhanes (THM) principalement le chloroforme ($CHCl_3$), le bromodichlorométhane ($CHBrCl_2$), le dibromochlorométhane ($CHBr_2Cl$) et le bromoforme ($CHBr_3$), lesquels sont réputés cancérigènes (Cotruvo et Wu, 1978).

La concentration maximale admissible de THM, soit la somme des quatre composés précédents, est de 350 µg/L au Canada et de 100 µg/L aux États-Unis. L'organisation Mondiale de la Santé recommande un maximum de 50 µg/L pour le chloroforme. Des pressions sont actuellement en cours afin de rendre ces normes plus contraignantes. Un ajustement de ces normes au niveau européen, qui est de 30 µg/L, est à prévoir dans un avenir rapproché.

- les composés halogènes totaux (TOX), dont les THM ne représentent que 20-30%, ne sont pas contrôlés par des normes nord-américaines;

- le 3-chloro-4-(dichloromethyl)-D-5-hydroxy-2(5H)-furanone(MX) isolé des eaux chlorées semble être responsable de 15 à 34% de la mutagénicité dans l'eau potable (test de Ames). (Fig. 2.1). Ce produit halogéné similaire à la dioxine sera probablement banni de l'eau potable dans les prochaines années (Meir et al, 1987).

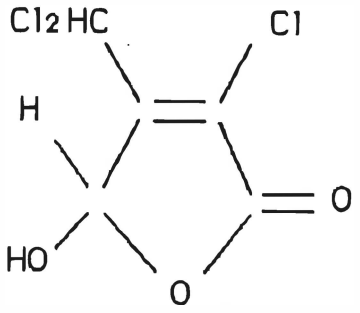


FIGURE 2.1 PRODUIT MX

Ainsi, dans un avenir rapproché, les producteurs d'eau potable devront rencontrer des normes sévères quant aux concentrations de molécules haloformes. L'augmentation des concentrations de chlore ne

semble donc pas un moyen acceptable pour le contrôle de la reviviscence bactérienne.

2.1.3 Abattement du carbone

L'énergie nécessaire au maintien des fonctions bactériennes et à l'augmentation de la biomasse provient du carbone des molécules organiques dissoutes possiblement attaquables par les exoenzymes. L'abattement du carbone organique assimilable (COA) avant sa distribution dans le réseau permettrait de réduire la recroissance, et même de l'éliminer. Ainsi, des concentrations inférieures à 15 μg d'acétate-C/L élimineraient le potentiel de recroissance dans le réseau de distribution d'Amsterdam (van der Kooij et Hijnen, 1984).

La réduction du carbone organique dissous, et plus encore du COA, se justifie encore par:

- la réduction de la demande en chlore et la limitation de la formation de sous-produits indésirables (THM) lors de l'étape finale de désinfection par le chlore (Fiessenger et al., 1985, Schellart, 1986).

- l'accroissement de la stabilité de la concentration résiduelle de chlore dans le réseau de distribution, surtout lorsque les temps de séjour sont élevés comme c'est le cas dans les réseaux maillés (Ventresque et al., 1987).

Les procédés conventionnels de traitement de l'eau potable que sont la coagulation, la floculation, la décantation, la filtration et la désinfection, n'assurent qu'un enlèvement partiel des molécules organiques. Les filières biologiques, dont la filtration sur charbon actif biologique précédée d'une ozonation, offrent une solution alternative potentielle aux traitements physico-chimiques coûteux pour l'enlèvement des composés organiques, des composés azotés, ainsi que du fer et du manganèse (LeChevallier, 1988).

Pour mesurer la concentration de molécules organiques, plusieurs méthodes conventionnelles sont disponibles, telles la mesure du carbone organique total (COT) et du carbone organique dissous (COD). Mais est-ce suffisant d'utiliser ces paramètres pour comprendre et optimiser l'enlèvement du carbone dans les filières biologiques? Cette question est débattue à la prochaine section.

2.2 Mesure du carbone organique

2.2.1 Analyse chimique du carbone organique

Les molécules organiques dissoutes dans les eaux naturelles sont composées de 40 à 60% d'acides fulviques et humiques réfractaires à la bioabsorption. Le reste est constitué d'acides aminés, d'acides carboxylique, de protéines et de carbohydrates (Amy et al., 1987) qui peuvent être hydrolysés par les exoenzymes. Ces composés forment le carbone organique assimilable (COA) lequel regroupe de nombreuses molécules qui sont difficiles à détecter chimiquement à cause de leur

très faible concentration et de leur présence aléatoire (van der Kooij et al, 1982a) (Stanfield et Jago, 1987). Une mesure du COA par un descripteur unique est donc requise.

2.2.2 Mesure du COA par descripteur unique

2.2.2.1 COD, COT

La mesure du carbone organique dissous ou total ne permet pas de distinguer la fraction des molécules qui est assimilable par les bactéries. Plusieurs modèles théoriques d'adsorption dans les filtres aux charbons basés sur le COD ou le COT ont été proposés, mais ils ne peuvent être utilisés puisqu'ils ne tiennent pas compte des composés biodégradables (Glaze et al, 1986) et (Piotte, 1988).

2.2.2.2 Demande en chlore

Il pourrait exister une corrélation directe entre la demande en chlore d'une eau et les molécules organiques assimilables et réfractaires. Pour déterminer cette relation il faut au préalable développer des méthodes de mesure du COA.

2.2.2.3 Bioessais

La détermination du COA par bioessais se fonde sur la mesure de la croissance de bactéries hétérotrophes dans un échantillon d'eau. Cette mesure de la croissance de bactéries peut être faite soit en observant le taux de croissance de microorganismes soit en calculant

la biomasse produite soit en mesurant la réduction du COD (COD initial - COD final).

Plusieurs méthodes sont présentement en développement; elles sont décrites à la section suivante.

2.3 Méthodes d'évaluation du COA

Cette section présente six méthodes de mesures de COA actuellement étudiées à travers le monde. Ces méthodes sont nommées en fonction des auteurs ou des organismes qui les ont proposés: van der Kooij, Werner, Stanfield et Jago, Billen et Servais, Joret et Levi, Université de Cardiff. Les méthodes van der Kooij, Billen et Servais, Joret et Lévi, sont également décrites en détail au chapitre 3.

2.3.1 Méthode van der Kooij

On évalue à l'aide de cette méthode la quantité de carbone organique facilement assimilable dans un échantillon d'eau, en mesurant la croissance bactérienne d'une souche pure. Un représentant de l'espèce Pseudomonas Fluorescens, souche P17, est utilisé. Ce choix, qui correspond au biotype P17, est sélectionné pour sa capacité à croître naturellement dans l'eau potable et à utiliser les composés carbonés organiques de faibles concentrations. La croissance de P17 dans l'échantillon n'exige pas de substances complémentaires telle que des vitamines. Le développement des colonies sur un milieu agar est rapide et leur dénombrement aisé (van der Kooij et al., 1982,a).

L'échantillon d'eau est d'abord stérilisé par pasteurisation dans un four à 60°C pendant 30 minutes, puis refroidi et inoculé par la préculture de P17. L'échantillon est alors incubé à 15°C, à la noirceur et sans agitation, jusqu'à ce que le nombre de colonies maximum (Nmax) soit atteint. Le nombre de colonies est déterminé périodiquement, environ une fois par jour, par étalement sur gélose.

van der Kooij et al., (1982,a) ont déterminé une corrélation directe entre la croissance maximale de P17 et la concentration d'acétate de sodium dans l'eau de robinet. Ainsi, pour des concentrations variant entre 5 et 50 μg d'acétate-C/L, une droite de pente égale à 4,1 x 10^6UFC/μg acétate-C est enregistrée. Le COA d'un échantillon est déterminé en comparant le Nmax enregistré au coefficient de croissance (pente de la droite). Le résultat est exprimé en équivalent acétate-C par litre.

Un seul organisme ne peut assimiler tous les composés organiques d'une eau. van der Kooij et al., (1982,b) ont démontré que P17 peut utiliser plusieurs composés facilement biodégradables: acides aminés, acides carboxyliques, acides hydrocarboxyliques, alcools et carbohydrates (polysaccharides exclus). L'acide oxalique, un sous-produit important de l'ozonation, est une exception. Des travaux de van der Kooij ont permis de sélectionner un Spirillum pouvant utiliser l'oxalate (van der Kooij et Hijnen, 1984). Plus récemment, les auteurs ont proposé l'inoculation mixte de P. fluorescens et de Spirillum pour les échantillons d'eau ayant subi une ozonation. Les

deux organismes produisent des colonies de morphologies différentes, ce qui permet un dénombrement séparé. Un Flavobactérium peut également être utilisé pour les eaux ayant subi un pré-traitement par polymère à base d'amidon.

Plusieurs objections à la méthode ont été rapportées. Elle demeure susceptible à la contamination (McFeters et Camper, 1988). Elle nécessite beaucoup de temps de manipulation (Kaplan et Bott, 1988). Les résultats ne sont connus qu'après 5 à 10 jours d'incubation. De plus, on ne connaît pas jusqu'à ce jour l'impact de la pasteurisation à 60°C sur le COA initial de l'échantillon.

Néanmoins, la méthode ne requiert pas d'équipement spécialisé et son application rigoureuse permet d'obtenir des résultats valables. Kaplan et Bott (1988) ont proposé une modification de la méthode qui consiste à utiliser des fioles de 40 mL dont le contenu n'est échantillonné qu'une seule fois, éliminant ainsi le besoin d'avoir recours à des pipettes exemptes de carbone. Ceci peut permettre de réduire les volumes d'incubation et diminue les risques de contamination.

2.3.2 Méthode Werner

Cette méthode est basée sur la mesure de la courbe de croissance en phase exponentielle d'un inoculum mixte dans un échantillon d'eau. Cette mesure est obtenue par la détection de l'augmentation de la turbidité. L'auteur a démontré une bonne corrélation entre la

turbidité et le nombre de germes totaux/mL en dépit de la variation du profil et de la taille des bactéries durant la phase de croissance (Werner, 1985).

Un volume de 275 mL d'eau est stérilisé par filtration sur une membrane de 0,4 µm et ajouté dans une cuvette avec 25 mL d'une solution saline nutritive stérile. L'inoculum est obtenu en lavant la membrane de 0,4 µm avec une solution de NaCl à 0,9%. L'inoculum est ensuite ajouté à la cuvette. La turbidité est mesurée à toutes les 30 minutes pendant au moins 60 heures par des turbidimètres spécialement modifiés pour cette tâche (angle de mesure à 12°) à 20°C. La procédure de mesure de la turbidité est automatisée et contrôlée par ordinateur.

Des résultats expérimentaux hypothétiques représentant la turbidité (biomasse) en fonction du temps d'incubation sont présentés à la figure 2.2. Le taux de croissance μ, donné par la pente, représente la qualité du substrat (biodégradabilité), tandis que le rapport Y/Yo indique la quantité de substrat. A la figure 2.2 le substrat le plus abondant est le moins rapidement biodégradable.

Pour une eau donnée, le taux de croissance peut être mesuré pour différentes valeurs de COD. Il s'agit de concentrer les substances organiques et de préparer les dilutions appropriées. Le taux de croissance maximal (μm) et la constante de saturation à $\mu m/_2$ (la constante de Michaelis-Menten, Ks) peuvent être calculés par

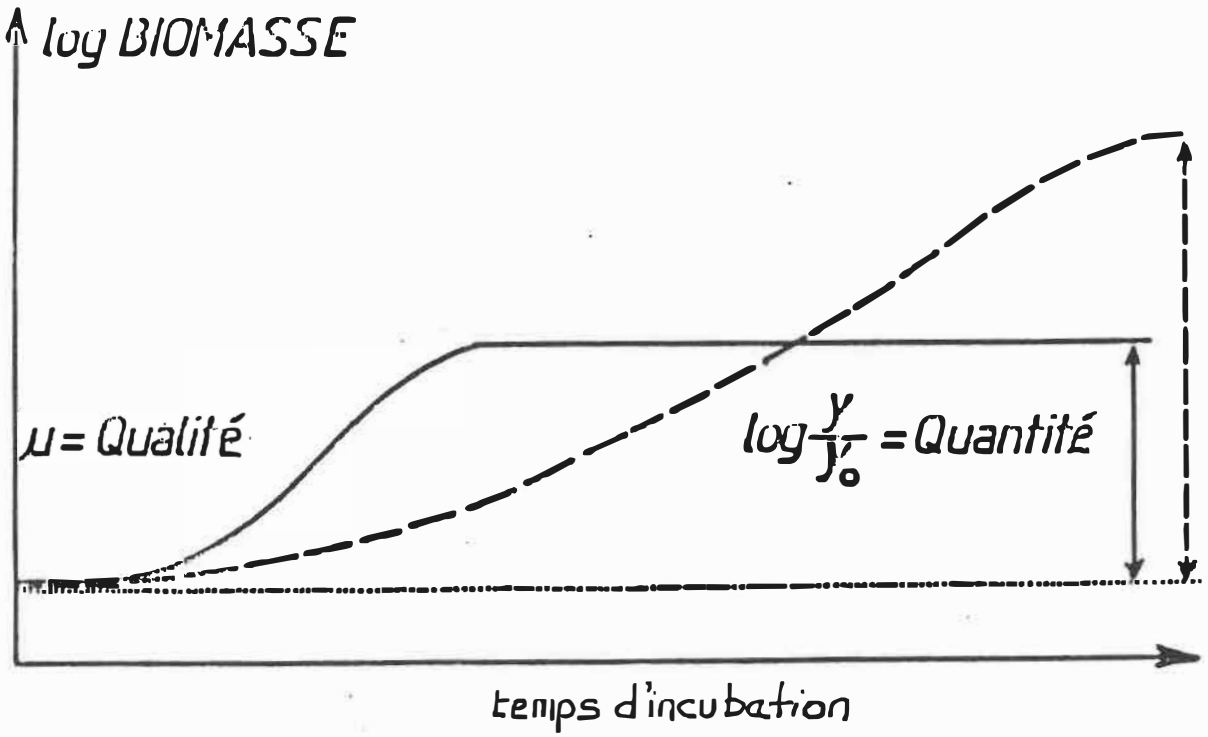


FIGURE 2.2 MÉTHODE DE WENER. RÉSULTATS HYPOTHETIQUES.
SOURCE: WERNER ET HAMBSCH (1988).

régression non-linéaire selon l'équation de Monod (Werner, 1982). Par ailleurs, l'auteur a obtenu, en étudiant les taux de croissance de différentes eaux additionnées d'acétate, une valeur moyenne de Ks de 0,6 mg/L. Ainsi, pour des concentrations inférieures à 1,2 mg/L, le taux de croissance demeure proportionnel au substrat. La méthode s'applique ainsi pour la mesure du COA dont les valeurs maximales sont inférieures à 1,0 mg/L (Werner, 1984).

La mise en oeuvre de cette technique requiert l'achat de turbidimètres spécialisés et de matériel informatique correspondant. Le coût de ces appareils limitent ainsi son utilisation.

2.3.3 Méthode Stanfield et Jago

Cette méthode mesure la croissance d'un inoculum mixte provenant du milieu naturel par la détection de l'adénosine triphosphate (ATP) (Stanfield et Jago, 1987).

Un échantillon de 100 mL d'eau est stérilisé par filtration sur une membrane de 0,2 µm. Un inoculum mixte (1 mL), choisi en fonction de son adaptation aux substances nutritives présentes dans l'échantillon, est ajouté. L'échantillon est incubé à 22°C avec agitation mécanique. L'ATP est mesuré quotidiennement à l'aide d'un luminomètre LKB 251 grâce aux réactifs Lumac (NRB et LUMIT-PM). La concentration de COA est fonction de la valeur maximale d'ATP enregistrée.

Les auteurs de la méthode ont réussi à déterminer des relations linéaires entre l'ATP et diverses concentrations en acétate. Cependant, différentes courbes de croissance furent enregistrées en fonction du type d'eau auquel l'acétate est ajouté. Ils ne peuvent expliquer ces différences (Stanfield et Jago, 1987).

Lorsque ces chercheurs ont débuté leur programme de recherche, les résultats permettant l'analyse des croissances des populations par la turbidité (méthode Werner) n'étaient pas encore disponibles. La qualité des résultats rapportés depuis par Werner et la possibilité d'obtenir commercialement les équipements requis ont obligé les auteurs à réévaluer leur méthode. Ils avancent également qu'après avoir opté pour la mesure de la biomasse par l'ATP, d'autres moyens plus faciles d'application ont été développés, particulièrement la microscopie à l'épifluorescence.

2.3.4 Méthode Billen-Servais

Cette méthode de mesure du COA a été développée à l'Université Libre de Bruxelles par M. Billen et son équipe avec le support de la Compagnie Générale des Eaux de France. Deux approches sont proposées. La première consiste à mesurer l'évolution du COD dans le temps, la seconde, plus élaborée, exige la détermination dans le temps de la biomasse par microscopie à l'épifluorescence (Hascoët et al, 1986; Servais et al, 1987).

Pour les deux procédures, la première étape consiste à stériliser l'échantillon d'eau par une filtration à travers une membrane de 0,2 µm. L'échantillon est alors inoculé à l'aide d'une eau non-stérilisée et filtrée sur une membrane de 2,0 µm pour éliminer les protozoaires (1% en volume). La provenance de l'inoculum n'est pas précisée. L'échantillon d'eau inoculé est incubé à la température de la pièce, à la noirceur et sans agitation.

La première procédure est utilisée lorsque la concentration de COA est élevée: le COD est mesuré au début et à la fin d'une période d'incubation, la variation de COD donnant la quantité de matière biodégradable. La précision d'un analyseur de COD (Dohrman DC-80) étant de 0,1 mg/L, cette technique ne devrait donc pas être utilisée pour des valeurs en COA inférieures à 0,3 mg/L (Bablon, comm. pers., 1988). De plus, elle est peu sensible et ne donne pas d'information quant à la cinétique de biodégradation. Elle est cependant aisée à mettre en oeuvre et permet des mesures de routine.

La seconde procédure a été développée pour des eaux contenant peu de COA. Des sous-échantillons d'eau sont soutirés des volumes incubés, à tous les jours lors de la première semaine d'incubation, et de façon occasionnelle par la suite. Le nombre et la dimension des bactéries sont évalués par épifluorescence après coloration à l'acridine-orange. Le bio-volume est alors calculé. La courbe de biomasse est tracée en fonction du temps; le flux intégré de mortalité est alors calculé en fonction du coefficient de mortalité (kd) et divisé

par le coefficient de croissance (Y) pour obtenir le COA. La valeur du kd peut être estimée par la technique d'incorporation à la thymidine (Servais et al, 1985).

Servais et al, (1987) ont observé une bonne corrélation entre les résultats obtenus par les deux procédures sur une même eau. La mesure de la biomasse requiert de longues manipulations; par contre elle permet de définir, à l'aide de la courbe de biomasse, deux classes de matériel biodégradable: celui qui est facilement biodégradable et celui qui est lentement biodégradable. Bablon (comm. pers., 1989) rapporte que la détermination du matériel facilement biodégradable permet l'optimisation de l'opération des filtres à charbon activé et de leur design initial.

Des développements récents de la méthode permettent l'utilisation de photographies pour limiter les erreurs liées à la détermination de la dimension des bactéries. L'importance de la source de l'inoculum sur les constantes cinétiques n'a cependant pas encore été déterminée.

2.3.5 Méthode Joret-Lévi

Une méthode rapide pour la détermination du COA a été développée par Joret et Lévi de la Compagnie Générale des Eaux (Joret et Lévi, 1986; Joret et al, 1988). Le COA est obtenu par la différence de COD (avant et après incubation) d'un échantillon d'eau inoculé par du sable biologiquement actif (SBA).

Le SBA est obtenu des filtres à sable d'une usine de traitement d'eau potable n'utilisant pas de pré-chloration. Il est d'abord nettoyé à l'eau courante puis ajouté à un échantillon d'eau n'ayant subi aucun traitement préalable. L'incubation a lieu à la température de la pièce. Une aération de l'échantillon peut être fournie. Des mesures de COD sont prises quotidiennement. La durée de l'incubation varie entre 3 et 5 jours. La rapidité de l'expérience provient de la grande quantité de bactéries à l'oeuvre dans ce processus de biodégradation.

Ce test donne une estimation rapide du COA, du COR et de la facilité de biodégradation. Le test est simple, exige peu d'équipements et peu de manipulation. Le contenu en COA ne subit pas de dégradation initiale puisqu'aucun pré-traitement (pasteurisation ou stérilisation par filtration) n'est utilisé. Cette méthode serait une meilleure approche des phénomènes de biodégradation dans les réseaux de distribution que celles utilisant la recroissance des bactéries en suspension. Elle ne permet cependant pas le décompte des bactéries.

2.3.6 Méthode de l'Université de Cardiff

Le Severn-trent Water Authority au Royaume-Uni a financé une recherche à l'Université de Cardiff (Wales) pour le développement et l'amélioration d'une méthode de détermination du COA qui est une adaptation et une simplification de la méthode présentée par van der Kooij. Des résultats préliminaires ont été présentés par Kemmy et al, (1988).

Cet essai est basé sur l'inoculation de quatre bactéries spécialement sélectionnées (Pseudomonas fluorescens, Curtobacterium sp, Corynebacterium sp, et une bactérie coryneforme non-identifiée). Les échantillons sont incubés à 20°C pendant 6 jours. A la fin des 6 jours un compte bactérien est effectué et est directement relié à la quantité de COA par le coefficient de croissance (Y) de chaque bactérie. Selon les auteurs il n'est pas nécessaire de mesurer les courbes de croissance de chaque échantillon ni de calibrer chaque essai.

Kemmy et al, (1988) ont rapporté des résultats pour des eaux de différentes usines de traitement et de différents réseaux de distribution. Certaines anomalies ont été notées: Des valeurs plus élevées en COA qu'en COD pour un même échantillon ont été obtenues.

2.4 Effet du traitement sur le COA

Les étapes de coagulation-filtration permettent de réduire de façon significative le COA présent dans l'eau (sauf si un polymère organique est employé comme aide-coagulant) (van der Kooij, 1982,a). Une étape importante demeure toutefois l'ozonation suivie d'une filtration biologique.

2.4.1 Ozonation

L'ozone, utilisé principalement pour son pouvoir désinfectant, participe à la réduction des goûts et odeurs, des couleurs et du contenu en micropolluants. Lorsqu'il est associé avec d'autres

traitements, il augmente le potentiel de réduction de molécules indésirables. L'ozonation oxyde de façon incomplète plusieurs molécules molécules présentes dans l'eau. Les sous-produits formés peuvent être regroupés en sept classes différentes (Glaze, 1988):

- aldéhydes, cétones
- acides carboxyliques
- époxydes
- peroxydes
- phénols, quinones
- oxydes de brome (BrO^-_4 en particulier)
- organiques bromés.

Les sous-produits formés dépendent de la nature des composés présents dans l'eau brute. Plusieurs molécules résistantes à la biodégradation, par exemple les acides fulviques et humiques, sont alors dégradés en acides carboxyliques facilement assimilables (Ahmed et Kinney, 1950), (Kuo et al, 1977). Ainsi, une augmentation substantielle du COA est enregistrée après l'ozonation (van der Kooij, 1982a)). En 1986, van der Kooij a constaté une augmentation linéaire de COA lorsque les concentrations d'ozone appliquées varient de 0 mg/L à 3,0 mg/L. Le potentiel de recroissance bactérienne a aussi été observé par Werner et Hambsh (1986). Une augmentation significative du taux de croissance des bactéries a été enregistrée après ozonation de substances humiques. Bablon et al, (1986) observent également une augmentation du COA et démontrent une diminution de la demande en

chlore des eaux ozonées. Ces divers auteurs ont également vérifié que les concentrations de COA étaient réduites subséquemment par l'activité biologique dans des filtres au sable et dans les filtres CAB.

2.4.2 Filtration sur charbon actif biologique

La dégradation biologique dans les filtres CAB joue un rôle important. Piotte (1988) a démontré que les modèles mathématiques reposant uniquement sur les capacités d'adsorption du charbon actif ne peuvent décrire les phénomènes d'enlèvement dans les filtres CAB. Bablon (comm. pers. 1989) a montré, à l'aide de montage-pilote, les rôles complémentaires de l'adsorption et de la bioassimilation lors de l'enlèvement du COA. A mesure que les capacités d'adsorption diminuent, la flore bactérienne se développe et permet la réduction du COA à un niveau à peu près constant. Dans cette même étude il a été démontré que l'efficacité des filtres dépend du temps de contact: une filtration lente au travers d'un filtre peu profond donne les mêmes résultats qu'une filtration rapide à travers un filtre plus profond.

Un des objectifs importants pour le traitement biologique des eaux est de réduire la concentration de désinfectant dans l'eau traitée. Ventresque et al, (1987) ont étudié la demande en chlore à court terme (4 h) et à long terme (168 h). La demande à court terme, associée aux molécules organiques de faible poids (< 1 kd) est réduite significativement par les étapes ozonation-filtration CAB alors que la demande à long terme n'est pas affectée.

CHAPITRE 3 - MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 Description de l'usine Ste-Rose de Ville de Laval

3.1.1 Chaîne de traitement d'eau potable de Ste-Rose

L'usine Ste-Rose a une capacité nominale de production de 110 000 m^3/d. L'eau est puisée dans la rivière des Mille-Iles et est dirigée vers le puits d'eau brute où elle subit une filtration sur grillage grossier et, en été, une désinfection au bioxyde de chlore. Depuis 1987 cette pré-désinfection n'est plus employée, mais demeure disponible en cas d'urgence. De l'alun et de la silice activée sont ajoutés à l'eau pompée en amont du mélangeur rapide. L'eau traverse les décanteurs dynamiques et est filtrée sur sable et anthracite. Elle est ozonée puis refoulée jusqu'aux filtres au charbon activé. L'eau s'écoule vers la réserve d'eau traitée où sont effectués une post-désinfection au bioxyde de chlore et un redressement du pH par la chaux. La figure 3.1 illustre cette chaîne de traitement.

3.1.2 Les filtres à charbon actif biologique

Les six filtres CAB fontionnent par gravité et sont divisés en deux baies. Ils sont identifiés par les chiffres 1 à 6 suivis de la lettre G ou D, identifiant la baie gauche et la baie droite (voir figure 3.2). La superficie totale de chaque filtre est de 84,3 m^2 et l'épaisseur du lit filtrant est d'environ 2 m. A la mise en route de l'usine, trois types de charbon étaient utilisés. Ils sont décrits

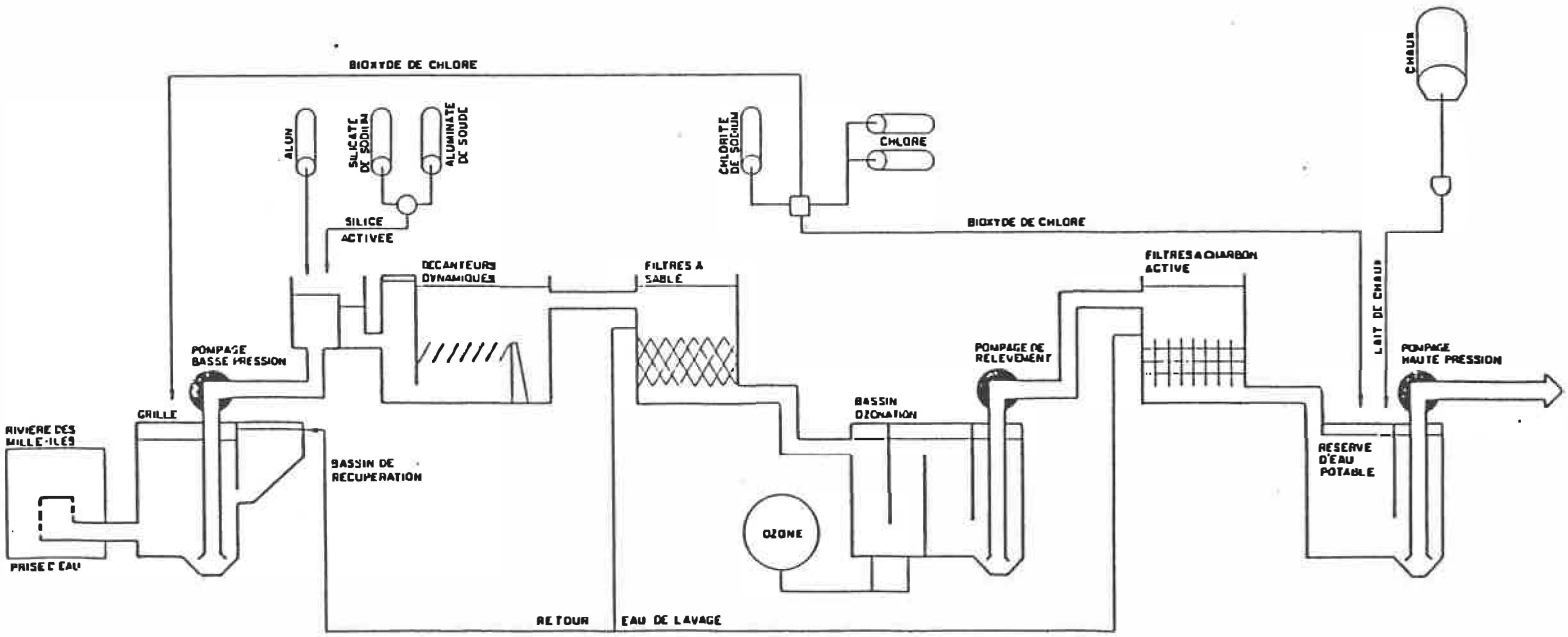


FIGURE 3.1 - Diagramme d'écoulement de l'usine de production d'eau potable Ste-Rose (laval)

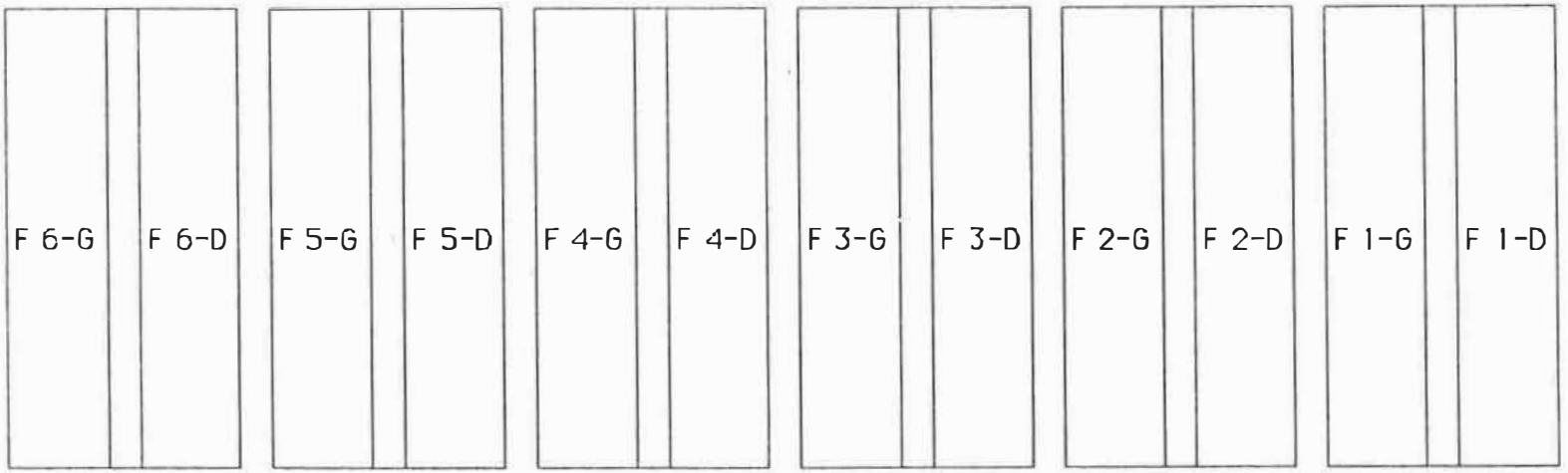


FIGURE 3.2 – Schéma d'identification des baies filtrantes des CAB à l'usine Ste-Rose

par Letendre (1987). En juillet 1987, le charbon des filtres 5 et 6, devenu saturé, est remplacé par du charbon à base de bitume ayant les mêmes caractéristiques initiales que celui utilisé pour les filtres 1 et 2. Ce changement est intéressant puisqu'au moment de l'étude, les filtres 5 et 6 fontionneraient en mode d'adsorption et en mode biologique, tandis que les filtres 1 et 2, vieux de plus de 5 ans, fonctionneraient en mode biologique seulement.

Les eaux des baies 2-G, 5-D et 6-D sont échantillonnées dans cette étude. Les caractéristiques de leur milieu filtrant sont résumées au tableau 3.1.

3.1.3 Caractéristiques de fonctionnement des filtres au charbon actif biologique

Les débits extrêmes et moyens observés à l'usine entre le 1er octobre 1988 et le 1er mars 1989 ainsi que les charges hydrauliques superficielles appliqués sont présentés au tableau 3.2.

3.1.4 Lavage des filtres au charbon actif biologique

Durant les mois de juillet et août 1988 les filtres CAB ont été lavés à toutes les 48 heures, afin de contrôler le développement des algues et ainsi empêcher le développement d'organismes supérieurs. A partir de septembre jusqu'à la fin novembre les filtres ont fonctionné de 72 à 96 heures entre les lavages. De décembre 1988 à mars 1989 les périodes de fonctionnement ont été étendues de 96 à 168 heures.

TABLEAU 3.1 - Caractéristiques du charbon actif

Origine	Bitume
Nom commercial	Calgon F-400
Taille effective (mm) . moyenne . intervalle	0,63 0,55 à 0,65
Coefficient d'uniformité . moyen . maximal	1,65 1,9
Densité apparente tassée (g/cm^3)	0,43
Densité apparente lâche (g/cm^3)	0,40
Friabilité (750 coups) (1500 coups)	11,1 23,3
Humidité à la livraison	1,02
Cendres (%)	4,5
Surface totale BET (m^2/g)	1050-1200
Indice phénol (mg/g à 0,5 mg/L)	30
Indice iode (mg/g)	> 1050
Nombre mélasse (mg/g)	230

Nombre de jours de fonctionnement au 88/10/20	
Filtre 2-G	1343
Filtre 5-D	454
Filtre 6-D	454

TABLEAU 3.2 - Conditions d'opération des filtres CAB de l'usine Ste-Rose
Juin 1988 à mars 1989

Caractéristiques	Minimum	Moyen	Maximum
Débit de l'usine (m^3/d)	17 900	52 800	89 200
Taux de filtration (m/h)	1,5	4,4	7,4
Temps de contact en fût vide (min)	81,4	27,6	16,3

Le cycle de lavage en mode automatique débute par la fermeture de la vanne d'entrée d'eau. La filtration se poursuit jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne la surface du milieu filtrant. Un brassage à l'air pendant 2 minutes est effectué; il est suivi d'un rinçage à l'eau d'une durée variant entre 10 et 20 minutes. Le débit d'eau de lavage est déterminé de façon à minimiser les pertes de milieu filtrant et dépend ainsi du type de charbon et de la température de l'eau. Pour les filtres 2, 5 et 6 il est de 20 m/h en saison froide et de 40 m/h en saison chaude.

3.2 Échantillonnage

3.2.1 Description du dispositif d'échantillonnage des filtres au charbon actif biologique

Un dispositif d'échantillonnage permettant de prélever des échantillons d'eau à l'intérieur du milieu filtrant est installé sur les baies 2-G, 3-D et 5-G. Dix tubes d'échantillonnage traversent le mur de béton de chaque filtre. Les points de prélèvement sont situés à des profondeurs de 10, 15, 20, 35, 50, 80, 110, 140 et 170 cm sous la surface du charbon. Un tube est également disposé à 25 cm au-dessus de la surface du charbon afin d'échantillonner l'affluent du filtre. Un robinet sur la conduite d'eau filtrée permet de prélever un échantillon de l'effluent du filtre. Les tubes sont alignés en diagonale par rapport à la verticale afin de limiter les effets des tubes sur la filtration et d'obtenir un échantillonnage représentatif. L'extrémité de chaque tube est muni d'un tamis ayant des mailles

de 0,15 mm (100 mesh) et pénètre le milieu filtrant de 45 cm à partir du mur du filtre afin d'éviter les effets de parois.

Un dispositif de lavage automatique permet le rinçage des conduites d'échantillonnage à contre-courant lors de chaque lavage des filtres.

3.2.2 Prélèvements

Avant un échantillonnage, les tubes sont rincés par l'eau du filtre (robinet ouvert) pendant 1 heure. Les échantillons d'eau sont prélevés en tenant compte du temps théorique que requiert une goutte d'eau pour traverser un filtre vide (temps de contact en fût vide). Ils sont recueillis dans des bouteilles de verre préalablement carbonisées à 550°C durant 6 heures puis analysés ou incubés le plus rapidement possible.

3.3 Méthodes d'analyse

3.3.1 Mesure du carbone organique dissous (COD)

Moins d'une heure après leur prélèvement des échantillons de 25 mL d'eau sont filtrés sur membrane 0,2 µm puis acidifiés à un pH de 2 à l'aide de 2 gouttes d'acide nitrique 10%. Le carbone inorganique est éliminé par barbottage à l'azote gazeux pendant 10 minutes.

L'analyse du carbone organique dissous (COD) est faite à l'aide d'un analyseur Dohrman DC-80 avec les modules de base (module de contrôle/détecteur infrarouge-module de réaction persulfate/U.V.) selon les procédures décrites dans le manuel du fabricant (Anonyme, 1984).

L'appareil est calibré avec une solution standard de 10 mg/L de carbone. Un échantillon de composition standard connue est analysé à tous les 10 échantillons. Les échantillons d'eau sont analysés en duplicata. La précision des mesures est de 0,10 mg/L. L'écart-type moyen pour l'ensemble des duplicatas de la méthode Billen-Servais - différence de COD - est toutefois de 0,05 mg/L pour un coefficient de variation moyen de 2% ne dépassant pas 6%.

3.3.2 Carbone organique assimilable - Méthode Billen-Servais

Un échantillon d'eau, préalablement stérilisé par filtration, est ensemencé par un inoculum bactérien mixte provenant du milieu naturel. Le COA est mesuré selon deux procédures analytiques: par différence de COD et par calcul de la biomasse à l'épifluorescence. La méthodologie employée pour l'incubation des échantillons d'eau et pour les deux procédures analytiques est décrite ici. La liste complète du matériel est décrite à l'annexe B.

3.3.2.1 Échantillons

Un volume de 550 mL d'eau est filtré sur une membrane de 0,22 $\mu m^{(1)}$*. Une pré-filtration sur membrane 1,2 à 5,0 $\mu m^{(2)}$ peut être requise pour les eaux fortement chargées en particules en suspension. Un volume de 500 mL est incubé alors que les 50 mL restants sont utilisés pour la mesure du COD initial. Les membranes sont préalablement rincées 20 fois avec 20 mL d'eau MilliQ (la membrane doit être sèche après chaque rinçage de 20 mL). Le relargage de COD est mesuré régulièrement.

3.3.2.2 Préparation de la vaisselle

Les bouteilles d'échantillons de 1 L sont chauffées à 550°C au four à moufle pendant 6 heures. Les pipettes sont trempées dans l'acide chromique pendant une nuit puis rincées à l'eau courante, à l'eau distillée, et finalament à l'eau MilliQ. Elles sont séchées et stérilisées à 210°C pendant 4 heures.

3.3.2.3 Inoculation

L'inoculum est composé d'une faune indigène mixte fixée sur le charbon activé. Sa préparation s'effectue comme suit:

---

* Les membranes filtrantes, numérotées (1) à (7), sont décrites au tableau 3.3

Il faut broyer environ 1 g de charbon à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Après avoir ajouté quelques millilitres d'eau MilliQ stérile et avoir brassé, le surnageant est prélevé et dilué en fonction de la quantité de bactéries observées par épifluorescence. L'objectif consiste à obtenir une concentration de 50 à 100 bactéries par champ grâce à un volume d'inoculum de 1,8 mL. L'inoculum est filtré sur membrane de 3,0 μm[3] avant d'ensemencer les échantillons, afin d'éliminer les protozoaires. Les bouteilles contenant 500 mL d'échantillon sont ensemencées avec 1,8 mL d'inoculum.

3.3.2.4 Incubation

Les échantillons ensemencés sont incubés de 10 à 30 jours, sans brassage ni aération, à l'obscurité et à 20°C (température de la pièce).

3.3.2.5 Suivi analytique

3.3.2.5.1 Différence de COD

Ce suivi ne requiert que les mesures du COD au début et à la fin de l'incubation (t_o et t_f). La fin de l'incubation correspond à la fin du suivi par épifluorescence. Lorsque le suivi par épifluorescence n'est pas effectué, le COD est mesuré à intervalle régulier jusqu'à l'obtention d'une stabilisation (plateau) des résultats. Le COA est calculé selon la Formule 3.1.

$$COA = COD_{to} - COD_{tf} \qquad (3.1)$$

3.3.2.5.2 Calcul de la biomasse à l'épifluorescence

Le calcul du biovolume est effectué à l'aide des résultats obtenus par épifluorescence en évaluant le nombre et la grosseur des bactéries marquées à l'orange-acridine. Les biovolumes sont alors convertis en biomasse à l'aide d'un coefficient de conversion. Puis, selon le coefficient de mortalité (kd) et le coefficient de croissance des bactéries (y) de cette biomasse, la quantité de COA est déterminée. Les étapes pour son obtention sont décrites ici.

Préparation initiale

Tous les liquides utilisés doivent être filtrés quotidiennement sur une membrane de 0,2 µm[4] [5] (acridine-orange, formol, eau distillée).

Filtration

La filtration s'effectue avec un filtre sur lequel un très faible vide est appliqué avec une trompe à eau. Les étapes 1 à 8 ci-dessous doivent être suivies:

1 rincer trois fois le système de filtration avec 20 mL en tout d'eau MilliQ (60 mL en tout);
2 poser un sous-filtre[6] de 0,8 µm et de 15 mm de diamètre après avoir humidifié la tête de filtration à l'aide de quelques gouttes d'eau MilliQ stérile;

3 poser un filtre noir[7] (0,2 µm) de 15 mm de diamètre. Bien centrer les filtres sur l'appareil de filtration. Aucune bulle d'air ne doit être présente entre les deux filtres. Attention au sens du filtre noir;

4 ajouter 5 mL d'eau distillée stérile et entre 0,1 et 0,5 mL d'échantillon selon la concentration présumée de la biomasse;

5 ajouter 1 à 2 mL d'acridine orange (AO) stérile à 0,1% et 1 à 2 gouttes de formol stérile à 40%;

6 allouer 2-3 minutes de contact;

7 filtrer lentement à faible débit avec trompe à eau à environ une goutte/seconde;

8 rincer avec de l'eau MilliQ stérile les parois du cylindre de filtration;

9 vérifier à l'épifluorescence si le volume filtré est adéquat (30-100 bactéries/champ) et refaire les étapes 1 à 8 si nécessaire.

N.B. A chaque séance de filtration, préparer un témoin en filtrant 5 mL d'eau distillée stérile, 2 mL d'AO et 2 gouttes de formol.

Montage de la lame pour la microscopie

Le montage de la lame est effectué en 5 étapes:

1 nettoyer la lame à l'aide d'une goutte d'alcool et y déposer une gouttelette d'huile à immersion non fluorescente;

2 déposer une section centrale représentative découpée du filtre noir;

3 ajouter une goutte d'huile à immersion non fluorescente et recouvrir d'une lamelle;

4 sceller avec du vernis à ongles de couleur;

5 conserver toutes les préparations à 4°C et dans l'obscurité.

Observation microscopique

L'observation des lames est effectuée à l'aide d'un microscope à épifluorescence (1000X) dont l'éclairage est fourni par le haut à l'aide d'une lampe halogène et filtré pour ne laisser passer qu'une lumière bleue de 450 à 470 nm. Une huile à immersion non-fluorescente doit être utilisée. Le comptage doit permettre de regrouper les bactéries selon leur taille. En général, 3 tailles sont identifiées. Le comptage est effectué sur 5 champs représentatifs de la lame.

Détermination du COA

Le COA est évalué selon la formule 3.2

$$COA = \frac{kd}{Y} \int_{t_o}^{t_f} B \, dt \qquad (3.2)$$

où kd = coefficient de mortalité = 0,01 h^{-1}
y = coefficient de croissance = 0,3
B = biomasse bactérienne (mg C/L)
t = temps d'incubation (h)

La biomasse bactérienne est évaluée en regroupant les formules 3.3 à 3.7.

$$NBL = NBC \times \frac{\text{Surface utile de filtration}}{\text{Surface de champ de vision}} \qquad (3.3)$$

où NBL = nombre de bactéries par lame
NBC = nombre de bactéries par champ

$$NBV = \frac{NBL}{V} \qquad (3.4)$$

où NVB = nombre de bactéries par mL
V = volume filtré d'échantillon (mL)

$$BV = NBV \times Vbact \qquad (3.5)$$

où BV = biovolume (mm^3)
Vbact = volume bactérien

$$Vbact = \frac{\pi W^2}{4} (L - W/3) \qquad (3.6)$$

où W = largeur des bactéries (mm)
L = longueur des bactéries (mm)

$$B = BV \times CC \qquad (3.7)$$

où CC = coefficient de conversion = $1,2 \times 10^{-1}$ mg C/mm^3
(Watson et al, 1977; Fuhrman and Azam, 1980)

Avec un diamètre du système filtrant de 17 mm et un diamètre du champ de vision de 0,1365 mm, et en regroupant les formules 3.3 à 3.7, la biomasse est égale à:

$$\text{Biomasse} = 1{,}4619 \times 10^{6} W^{2} (L-W/3) (NBC/V) \qquad (3.8)$$

où W = largeur des bactéries (mm)
L = longueur des bactéries (mm)
V = volume filtré d'échantillon (mL)
Biomasse (mg C/L)

3.3.2.6 Types de membranes filtrantes

Un soin particulier à la sélection et au traitement (lavage, si requis) des membranes doit être apporté. Les membranes utilisées et référées dans le texte précédent, aux sections 3.3.2.3 à 3.3.2.5, sont décrites au tableau 3.3:

TABLEAU 3.3 Membranes utilisées dans la mesure du carbone organique assimilable - Méthode Billen-Servais

Membrane #	Description et utilisation
(1)	Filtration des échantillons (COD et stérilisation): MILLIPORE 0,22 µm GSWP 047 SO
(2)	Préfiltration des échantillons: NUCLEPORE prefilter 47 mm D79SN:211116 1,2 à 5,0 µm
(3)	Élimination des protozoaires dans l'inoculum: MILLIPORE 3,0 µm SSWP 025 00
(4)	Filtration de l'orange-acridine et de l'eau: MILLEX GS stérile 0,2 µm (solution aqueuse et utilisation unique)
(5)	Formol: MILLEX FG stérile 0,2 µm (solution non-aqueuse et gaz)
(6)	Sous-filtre: NUCLEPORE MF memb. 25 MM 8 µM
(7)	Filtre noir: NUCLEPORE PC memb. 25 MM 0,2 µm SN:110656

3.3.3 Carbone organique assimilable - Méthode van der Kooij

Cette méthode permet de déterminer le COA d'un échantillon d'eau en fonction de la croissance maximale (Nmax) des bactéries Pseudomonas fluorescens de souche P17. Le rapport du Nmax sur le coefficient de croissance (y) donne la quantité de COA exprimée en mg acétate-C/L. Le coefficient est préalablement déterminé par la croissance de P17 dans des solutions de concentrations connues d'acétate.

L'échantillon d'eau est d'abord stérilisé puis inoculé par P17. Des comptes de bactéries quotidiens sont effectués par étalement sur gélose jusqu'à l'obtention du Nmax, soit entre 3 et 10 jours.

3.3.3.1 Préparation du sous-inoculum

Le sous-inoculum de P17 est conservé sur une gélose inclinée R2A à 4°C. A tous les trois mois, de nouvelles géloses inclinées sont préparées à partir de colonies isolées sur une boîte de pétri contenant une gélose R2A. Une suspension dans une eau physiologique est réalisée avec une loupée de culture de P17 recueillie par fil bouclé sur la gélose inclinée.

3.3.3.2 Préparation de l'inoculum (préculture)

Une eau physiologique (McFeters et Camper, 1988), telle que décrite au tableau 3.4, additionnée de 1,0 mg C/L en acétate de sodium, est stérilisée par pasteurisation dans un four à 60°C pendant

30 minutes. L'eau physiologique est préalablement amenée à 60°C dans un bain thermostaté.

TABLEAU 3.4 Eau physiologique (McFeters et Camper, 1988)

1 L d'eau MilliQ
7,0 g K_2HPO_4
3,0 g KH_2PO_4
1,9 g $(NH_4)_2\ SO_4$
0,1 g $Mg\ SO_4.7H_20$
pH = 7,0

Les 100 mL d'eau physiologique stérile contenue dans un erlenmeyer de 250 mL sont ensemencés en ajoutant 0,1 mL d'une dilution 1/1000 du sous-inoculum de façon à obtenir environ 500 UFC/mL. L'erlenmeyer est incubé à 20°C pendant une semaine pour obtenir une population d'environ $1,5 \times 10^6$ UFC/mL.

Cette pré-culture effectuée en duplicata est conservée à 4°C et vérifiée une fois par mois. Elle est remplacée à tous les 6 mois.

3.3.3.3 Détermination du Y à l'aide d'une courbe étalon

3.3.3.3.1 Méthode de mesure du Nmax

Des flacons de 40 mL, contenant 16 mL d'eau physiologique et 0, 0,5 et 1,0 mg de acétate-C, sont pasteurisés tel que décrit précédemment et ensemencés avec la pré-culture de façon à obtenir une

population de 500 UFC/mL. Chaque concentration en acétate est préparée en duplicata.

Les cultures sont incubées à 20°C, sans agitation et à l'obscurité, jusqu'à l'obtention des Nmax (environ de 3 à 10 jours).

Les dénombrements sont réalisés quotidiennement sur géloses LLA (Oxoïd), par la méthode d'étalement et ce, en triplicata.

La pente de la droite des Nmax en fonction des concentrations en acétate est égale à Y (exprimé en UFC/μg acétate-C).

3.3.3.3.2 Méthodes préliminaires

Lors des quatre premiers essais, l'estimation du coefficient de croissance (Y) a été réalisée en utilisant les méthodes préliminaires suivantes.

De l'eau du robinet et des concentrations en acétate-C ont été stérilisées à l'autoclave (121°C, 15 minutes) et ensemencées avec une population de 50-1000 UFC/mL en P17 selon les essais suivants:

Essai V-1

- fioles de 250 mL
- volume d'eau du robinet: 100 mL
- 0, 5, 10, 50 ug C/L et 1, 10 et 100 mg C/L d'acétate ajouté

Essai V-2

- fioles de 40 mL
- volume d'eau du robinet: 16 mL
- 0, 5, 10, 50 ug C/L et 1, 10 et 100 mg C/L d'acétate ajouté

Essais V-3 et V-4

- fioles de 40 mL
- volume d'eau du robinet: 16 mL
- 0, 0,1, 1, 10 et 50 mg C/L d'acétate ajouté.

Les cultures sont incubées à 20°C sans agitation et à l'obscurité jusqu'à l'obtention des Nmax. Les dénombrements ainsi que le calcul de Y sont effectués comme pour la méthode de mesure du Nmax, sauf que le milieu utilisé est du PCA et non du LLA.

Ces méthodes ont été rejetées au profit de la méthode décrite en 3.3.3.3.1, cette dernière étant moins sensible aux contaminations par le carbone.

3.3.3.4 Préparation des échantillons

Des échantillons de 16 mL d'eau distribués dans des fioles en verre de 40 mL avec bouchon en Téflon sont amenés à 60°C dans un bain d'eau thermostatée et stérilisés au four à 60°C pendant 30 minutes. Ils sont refroidis à l'air ambiant puis inoculés avec la préculture de P17 pour obtenir une population approximative de 500 UFC/mL. Les flacons sont incubés en duplicata à 20°C, dans l'obscurité et sans

agitation, jusqu'à obtention des Nmax. Les dénombrements sont effectués en étalant en triplicata 0,1 mL d'échantillon, dilué au besoin dans une eau saline contenant 0,85% de NaCl, sur milieu LLA. Les dilutions sont effectuées pour obtenir des comptes de 25 à 250 colonies par mL après 48 heures d'incubation à la température de la pièce.

3.3.3.5 Obtention du Nmax

Le Nmax est le nombre de bactéries observé avant deux décroissances consécutives. Par exemple, dans l'exemple fictif du tableau 3.5, le Nmax est 1,0 x 10^6 UFC/mL atteint en 4 jours.

TABLEAU 3.5 Exemple de détermination du Nmax

Temps (d)	Nombre de colonies (UFC/mL)	
0	5,0 X 20^2	
1	1,0 X 10^4	
2	5,0 X 10^5	
3	9,0 X 10^5	
4	1,0 X 10^6	
5	8,0 X 10^5	deux décroissances
6	9,0 X 10^5	par rapport à t_4
7	1.2 x 10^6	

3.3.3.6 Calcul du COA

Le COA est calculé selon l'équation 3.9

$$\frac{N_{max}\ (UFC/mL)}{Y\ (UFC/\mu g\ acétate\text{-}C)} = COA\ (mg\ acétate\text{-}C/L) \qquad (3.9)$$

3.3.3.7 Lavage de la verrerie

Les flacons de 40 mL et les erlenmeyers de 250 mL sont chauffés à 550°C dans un four à moufle pendant 6 heures. Les pipettes sont trempées dans une solution d'acide chromique pendant une nuit, puis sont rincées à l'eau courante, à l'eau déminéralisée puis à l'eau MilliQ avant d'être séchées et stérilisées à 180°C pendant au moins 4 heures.

3.3.4 Carbone organique assimilable - Méthode Joret-Lévi

La méthode Joret-Lévi mesure l'évolution du COD, à 20°C dans l'obscurité, dans un échantillon d'eau mélangé à du sable ou de l'anthracite sur lequel s'est développée une flore bactérienne. La mesure du COA est la différence entre le COD t_o et le COD minimum enregistré. Le barbottage d'air peut être utilisé et permet d'accélérer le processus de dégradation du COA. La liste du matériel utilisé est décrite à l'annexe 2. La méthode employée et ses variantes sont décrites dans les prochaines sections.

3.3.4.1 Échantillons

Les échantillons d'eau (500 mL) sont filtrés sur membrane 0,22 µm. Ces membranes sont nettoyées à l'eau distillée de 6 à 10 fois. Le relargage en COD dans l'eau de lavage est vérifié après le dernier lavage et il ne doit pas dépasser le COD de l'eau distillée.

3.3.4.2 Inoculum

Le sable ou l'anthracite, appelés ici milieu fixeur, servent à l'ensemencement de l'échantillon d'eau. On en utilise 167 g, soit un rapport de 3 pour 1 entre le poids de l'échantillon et celui du milieu fixeur. Le lavage à l'eau du robinet puis à l'eau déminéralisée doit permettre d'éliminer le relargage en COD du milieu fixeur. La provenance des milieux fixeurs et les lavages effectués sont décrits au tableau 3.6 pour chaque série d'expérience.

3.3.4.3 Traitement du milieu fixeur

Selon Joret (1986), du sable provenant de filtre à sable est prélavé à l'eau du robinet puis à l'eau distillée afin d'éliminer le relargage en COD. On ne précise pas le temps de rinçage mais il est admis qu'il varie entre quelques minutes et 1 heure.

Le sable originalement employé provient de la couche supérieure d'un filtre à sable de l'usine de traitement d'eau potable de Pont-Viau. Les expériences 1 à 4 sont réalisées avec ce sable. Les

TABLEAU 3.6 - Conditions expérimentales des essais selon la méthode Joret-Lévi

Conditions / Essais	Échantillon	Milieu fixeur	Lavage eau du robinet (min)	Lavage eau déminéralisée (min)	Aération (mL/min)
1	eau ozonée	sable Pont-Viau	2	2	150
2	eau ozonée	sable Pont-Viau	60	0	non
3	eau ozonée	sable essai #2	240	2	150
4	eau déminéralisée	sable Pont-Viau & sable essai #1	360	15	non
5	eau traitée	anthracite Ste-Rose	60	0	non
6	eau traitée	anthracite Essai #5	45	0	150
7	eau ozonée	sable carbonisé et ensemencé	45	2	150
8	eau ozonée	sable carbonisé et ensemencé	45	2	150
9	eau ozonée	sable carbonisé et ensemencé	0	10 x 100 mL	agitation magnétique
10	eau ozonée	sable carbonisé et ensemencé	0	10 x 100 mL	non

expériences 5 et 6 sont réalisées avec de l'anthracite provenant de la couche supérieure d'un filtre à sable et anthracite de l'usine Ste-Rose. Les expériences 7 à 10 sont effectuées avec du sable carbonisé à 550°C pendant 6 heures et réensemencées, pour les essais 7 et 8, pendant une semaine avec de l'eau filtrée sur sable et anthracite. Le sable des essais 9 et 10 est réensemencé avec de l'eau effluent du filtre CAB #6. Le tableau 3.6 résume les conditions de lavage du milieu fixeur selon les essais.

3.3.4.4 Incubation

L'incubation a lieu dans une bouteille de 1 L en verre, à 20°C, et dans l'obscurité. Lorsque l'échantillon est aéré, l'air est fourni à raison de 150 mL/min, mesuré par un rotamètre Gilmont S-170. L'air provient du compresseur alimentant l'usine et est épuré par un préfiltre constitué de coton non-adsorbant et par un filtre à gaz Millex FG 0,2 μm.

Pour l'expérience #9, l'air a été remplacé par une agitation magnétique. La bouteille ne repose pas directement sur l'agitateur magnétique car celui-ci dégage de la chaleur. Elle repose plutôt sur une conduite de 0,6 cm percée de petits trous par où l'air s'échappe. Cet air qui est fourni par le compresseur du labo, à raison de 200 mL/min, permet de maintenir la température de la bouteille autour de 20°C. L'air ne vient pas en contact avec l'échantillon. L'agitation est assurée par un barreau aimanté préalablement rincé à l'eau déminéralisée.

3.3.4.5 Lavage de la verrerie

Le ballon de 1 litre ainsi que la pipette d'aération sont trempés dans l'acide chromique pendant 8 heures, rincés à l'eau du robinet puis rincés à l'eau déminéralisée.

Les fioles de 40 mL servant à recueillir les échantillons à analyser par le DOHRMAN DC-80 sont rincées deux fois avec 20 mL d'eau déminéralisée puis séchées à la température de la pièce.

3.3.5 Azote ammoniacal

Les mesures de l'azote ammoniacal et du phosphore total sont effectuées selon APHA et al., 1985, sections 417C & 424F respectivement.

3.3.6 Mesure des caractéristiques de fonctionnement

La température, la concentration résiduelle d'ozone et les débits d'eau traitée sont mesurés de façon automatique et les résultats transmis à l'ordinateur de l'usine.

3.4 Analyses statistiques

Des tests paramétriques sont appliqués si les hypothèses de base de normalité des données et d'homogénéité des variances sont respectées. Sinon, des tests non-paramétriques sont utilisés. Toutes les analyses sont effectuées par le logiciel Statview (Feldman et al, 1986). Elles sont résumées au Tableau 3.7.

Les analyses de variance sont effectuées sur les résultats dont les coefficients de variation sont jugés acceptables. De plus, seuls les résultats sur des expériences dont les caractéristiques sont similaires (température de prélèvement, ozone appliqué, etc.) sont comparés.

TABLEAU 3.7 - Tests statistiques utilisés pour l'analyse des données expérimentales

But de l'analyse	test utilisé
- Comparer la similitude des résultats de COD entre les duplicatas de bouteilles d'incubation. -Méthode Billen-Servais (différence de COD)	Wilcoxon pour écantillons appariés- (non-paramétrique)
- Déterminer l'enlèvement du COA par le filtre au charbon actif biologique selon les couches filtrantes. - Méthodes van der Kooij et Billen-Servais (différence de COD)	Analyse de variance multiple - test de Fisher PLSD
- Vérifier la similitude des résultats d'enlèvement du COA entre les filtres 2-G et 5-D. - Méthodes van der Kooij et Billen-Servais (différence de COD)	Analyse de variance à 2 critères de classification - test de Fisher PLSD

CHAPITRE 4 - RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats de sept campagnes d'échantillonnage tenues entre juin 1988 et février 1989 pour les méthodes Billen-Servais et van der Kooij. La méthode Joret-Lévi n'est pas employée pour ces campagnes. Les résultats de celle-ci, obtenus à l'été 1988, sont présentés à la section 4.5.

4.1 Campagnes d'échantillonnage

Les diverses campagnes d'échantillonnage ont permis d'évaluer le COA d'échantillons provenant de différentes étapes du traitement d'eau de l'usine Ste-Rose. Les méthodes employées et les types d'eau analysée sont présentés au tableau 4.1, selon le calendrier des campagnes.

Le tableau 4.2 décrit les caractéristiques initiales des eaux ainsi que les traitements appliqués à l'usine pouvant influencer les résultats. Trois campagnes sont effectuées en eau tiède ou chaude (> 11°C) et quatre en eau très froide (1-2°C). L'ozone résiduel demeure assez constant et varie de 0,43 à 0,49 mg/L. Les vitesses de filtration sont également assez constantes, variant de 3,9 à 4,9 m/h, pour une moyenne de 4,1 $\pm$ 0,2 lors des échantillonnages des filtres CAB. Le nombre d'heures de fonctionnement entre les lavages des filtres CAB varie de 48 à 72 heures en été et augmente à 178 heures en hiver.

TABLEAU 4.1 – Eaux analysées et méthodes de mesure du COA employées

date	eaux analysées	méthodes de mesure de COA employées			
		van der Kooij	Billen-Servais diff. COD	épifluorescence	inoculum employé
8 JUIN. 88	brute, ozonée	N	E	N	effluent CAB-6G
22-août-88	brute , ozonée eff CAB-6G	N	E	N	effluent CAB-6G et eau brute
20-oct-88	CAB-2G	E	E	E	effluent CAB-5D
7-déc-88	CAB-2G	N	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
	CAB-5D	N	E	E	solide CAB-5D à 15 cm.
12-déc-88	CAB-2G	E	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
	CAB-5D	E	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
17-jan-89	CAB-2G	E	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
	CAB-5D	E	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
28-fév-89	CAB-2G	E	E	N	solide CAB-5D à 15 cm.
	CAB-5D	E	N	N	solide CAB-5D à 15 cm.

E = employée N = non-employée

TABLEAU 4.2 – Conditions lors des échantillonnages

Date	température de l'eau (°C)	O3 résiduel (mg/L)	Fonctionnement des filtres CAB				vitesse de filtration (m/h)	
			nbre d'hres entre lavage	hres de fct à l'échantillonnage CAB 2-G	CAB 5-D	CAB 6-D		
8 juin. 88	28,8	0,46	-	n.é.	n.é.	n.é.	4,9	
22-août-88	22,6	0,44	48	n.é.	n.é.	10	3,8	
20-oct-88	11,4	0,47	72	47	67	n.é.	4,0	MOY: 4.1 + 0,2
7-déc-88	1,3	0,46	178	37	36	n.é.	3,9	
12-déc-88	1,1	0,47	178	157	156	n.é.	4.1	
17-jan-89	1,0	0,43	165	18	119	n.é.	4,0	
28-fév-89	1,0	0,49	178	162	161	n.é.	4,4	

n.é.: non échantillonné

4.2 Méthode Billen-Servais

Les résultats obtenus selon la méthode Billen-Servais ainsi que les observations concernant certaines contaminations en carbone sont présentés à la section 4.2.

4.2.1 Contamination en carbone par les membranes filtrantes

La membrane filtrante Millipore GSWP 047 SO est composée de nitrate de cellulose et d'acétate de cellulose (polycarbonate). Elle est utilisée afin de stériliser et filtrer un échantillon d'eau. De par leur conception, ces membranes sont réputées pour relarguer une certaine quantité de COD. Stanfield et Jago (1987) proposent de laver la membrane avec 25 mL de la solution à filtrer pour éliminer la contamination en COD. Des lavages à l'eau d'échantillon et à l'eau MilliQ ont été effectués afin de préciser la procédure qu'il est préférable d'employer.

4.2.1.1 Rinçage à l'eau d'échantillon

Trois membranes filtrantes sont lavées avec l'effluent de filtres CAB. Un lavage avec trois volumes de 20 mL (3 * 20 mL) donne un relargage moyen en carbone de 1,0 mg/L. Entre chaque application de 20 mL, il faut attendre que la membrane filtrante s'assèche. L'application en un seul coup de tout le volume - ici 60 mL - sans assèchement de la membrane - donne des relargages supérieurs (résultats non

présentés). Des lavages de 7 * 20 mL et de 15 * 20 mL ne permettent pas de nettoyer complètement la membrane. Le tableau 4.3 présente ces résultats. Des lavages effectués avec plus de 300 mL n'ont pas été testés étant donné le volume trop important d'échantillon à utiliser.

TABLEAU 4.3 - COD contenu dans les filtrats après lavage à l'eau effluent CAB de membranes 0,2 µm en polycarbonate (COT de l'eau de lavage = 2,6 mg/L)

Membrane (#)	COD (mg/L) Nombre de lavages (x 20 mL)			
	1	3	7	15
1	5,7	3,1	3,1	3,0
2	7,1	2,9	2,7	n.d.
3	7,8	4,8	2,9	n.d.
moyenne	6,9	3,6	2,9	3,0

4.2.1.2 Rinçage à l'eau MilliQ

Les résultats moyens de séries de lavages à l'eau MilliQ de trois membranes (sept. 1988) et de cinq membranes (nov. 1988) sont présentés à la figure 4.1. Le COT final est égal au COT de l'eau MilliQ après 15 rinçages de 15 mL. Pour plus d'assurance il est recommandé de laver les membranes avec 20 x 15 mL d'eau MilliQ afin de s'assurer de l'élimination du carbone.

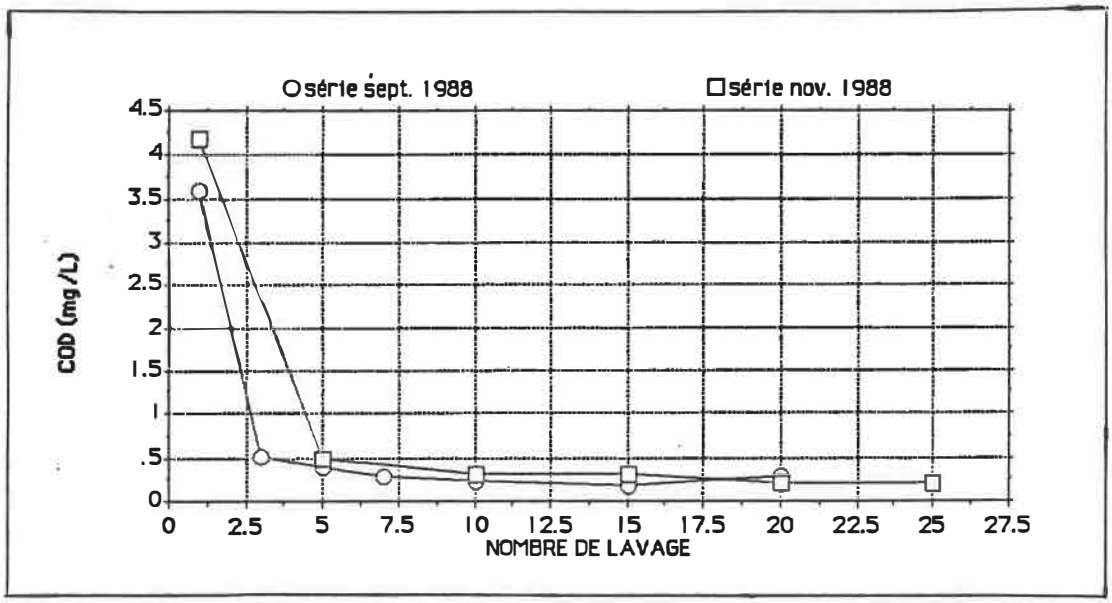


FIGURE 4.1 - COD moyen du filtrat après lavage à l'eau MilliQ des membranes 0,2 µm en polycarbonate

4.2.2 Carbone organique assimilable - Procédure de différence de carbone organique dissous

4.2.2.1 Campagnes d'échantillonnage du 6 juin et du 22 août 1988

Le COA de l'eau brute et de l'eau ozonée prélevées les 6 juin et 22 août 1988 est mesuré alors que le COA de l'échantillon prélevé le 22 août à l'effluent du filtre CAB 6-G a aussi été mesuré. Chaque échantillon est incubé en duplicata. Le COD est mesuré à différents intervalles afin d'obtenir le profil d'enlèvement de la matière organique selon le temps d'incubation. Les tableaux 4.4 et 4.5 ainsi que les figures 4.2 et 4.3 présentent les profils d'enlèvement du COD pour les deux campagnes.

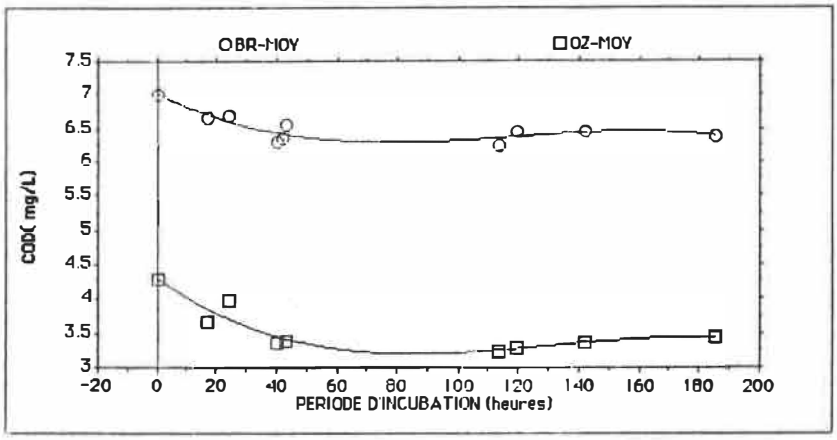


FIGURE 4.2- Évolution des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute et d'eau ozonée, méthode de différence du COD, échantillons du 88-06-08.

TABLEAU 4.4- Résultats des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute et d'eau ozonée, méthode de différence du COD, échantillons du 88-06-08

temps d'incubation ! (hres)	COD (mg C/L) EAU BRUTE moy. 1A-2A	EAU OZONEE moy 1A-2A
0	7.02	4.30
17	6.66	3.67
24	6.71	3.99
40	6.30	3.37
42	6.36	n.d.
43	6.58	3.40
113	6.26	3.24
119	6.46	3.29
142	6.47	3.36
185	6.39	3.43
COA (mg C/L)	0.77 (T0-T113)	1.06 (T0-T113)
COD réfract. (mg C/l)	6.26	3.24
COA/COD to (%)	10.9	24.7

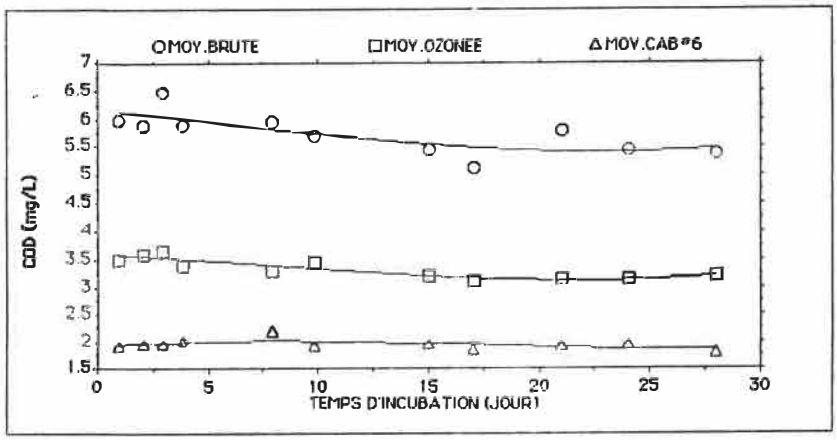


FIGURE 4.3- Évolution des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute, d'eau ozonée et de l'effluent CAB 6-G, méthode de différence du COD, échantillons du 88-08-22.

TABLEAU 4.5- Résultats des COD moyens lors de l'incubation d'eau brute, d'eau ozonée et de l'effluent CAB 6-G, méthode de différence du COD, échantillons du 88-08-22.

période d'incubation	COD (mg C/L)		
(jour)	EAU BRUTE moy 1A-2A	EAU OZONEE moy 1A-2A	EAU CAB #6 moy 1A-2A
0	5.98	3.50	1.87
0.9	5.88	3.62	1.93
2.88	6.56	3.63	1.96
3.8	5.88	3.41	2.05
7.9	5.97	3.30	2.22
9.87	5.71	3.45	1.91
15	5.42	3.20	1.99
17	5.14	3.07	1.82
21	5.77	3.19	1.91
24	5.45	3.14	1.94
28	5.42	3.23	1.82
COA (mg C/L)	0.84 (T0-T17)	0.43 (T0-T17)	0.05 (T0-T17)
COD réfract. (mg C/L)	5.14	3.07	1.82
COA/COD t0 (%)	14.0	12.3	2.7

Pour la campagne du mois de juin l'enlèvement de la matière organique est presque complété après 40 heures et atteint un minimum après 113 heures d'incubation. Il faut cependant attendre 17 jours avant que l'enlèvement de la matière organique soit complété dans les eaux prélevées au mois d'août. De légères remontées du COD sont observées par la suite. Par exemple, il y a relargage en COD de 0,6 mg/L entre les journées 17 et 21 pour l'eau brute du mois d'août.

Le COA de l'eau brute est d'environ 0,80 mg/L pour les deux mois. Puisque le carbone organique réfractaire (COR) en juin est de 6,3 et de 5,1 mg/L en août, seulement 11 à 14% du contenu en carbone organique peut être directement assimilé.

Les étapes de coagulation, décantation et filtration, enlèvent près de 40% du COD des eaux. Le traitement suivant, l'ozonation, permet d'obtenir des eaux contenant 1,1 mg/L de COA en juin, mais seulement 0,4 mg/L en août.

Un abattement de 1,6 mg/L de COD est obtenu par la filtration de l'eau à travers le filtre CAB 6-G. La fraction de COA est presqu'entièrement enlevée (résiduel de 0,05 mg/L), et une part importante de carbone non-assimilable est adsorbée par le filtre (1,15 mg/L).

Pour les échantillons prélevés aux mois de juin et d'août 1988, chaque type d'eau est incubé dans deux bouteilles, et les résultats moyens sont présentés. Afin de vérifier la similitude des duplicatas

pour chaque eau (résultats bruts présentés en annexe), les hypothèses suivantes sont posées:

H_o: Pour une même période d'incubation, les COD sont identiques dans les deux bouteilles.

H_i: Pour une même période d'incubation, les COD sont différents dans les deux bouteilles.

Étant donné que le nombre de résultats appariés est faible (<14) et qu'il y a une présomption de décroissance du COD en fonction du temps, les populations ne sont pas distribuées normalement et de façon indépendante. Dans ce cas, un test non-paramétrique se révèle plus puissant qu'un test paramétrique (Scherrer, 1984). Le test de Wilcoxon pour échantillons appariés est celui qui s'applique dans le cas de résultats quantitatifs. En fonction du nombre de résultats appropriés dont la différence est non-nulle, et pour un seuil de signification $\alpha = 0,05$, l'hypothèse de rejet de Ho est vérifiée lorsque Rcalculé < R * 0,05. Le tableau 4.6 présente ces résultats.

Pour les cinq eaux incubées en duplicata, l'hypothèse nulle H_o ne peut être rejetée. Cela signifie qu'il n'y a pas assez de différence entre les résultats de COD des duplicatas pour signifier une non-similitude. Ainsi, les résultats de COD entre deux bouteilles d'incubation sont jugés égaux.

TABLEAU 4.6 - Vérification de la similitude des COD entre deux bouteilles d'incubation.
Test de Wilcoxon pour échantillons appariés, $\alpha = 0,05$

Type d'eau		Nombre d'échantillons appariés non-nuls	R min. calculé	R*0,05	Décision sur H_o
Brute	88/06/08	7	13,5	2	N'est pas rejetée
Brute	88/08/22	11	14,5	10	N'est pas rejetée
Ozonée	88/06/08	9	16	5	N'est pas rejetée
Ozonée	88/08/22	11	21	10	N'est pas rejetée
Eff CAB-6G	88/08/22	11	26,5	10	N'est pas rejetée

4.2.2.2 Campagnes d'échantillonnage du 20 octobre 1988 au 28 février 1989

Le COD et le COA des eaux prélevées à cinq endroits dans les filtres CAB-2-G et CAB 5-D ont été mesurés. Les échantillons ont été prélevés le 20 octobre 1988 et le 28 février 1989 à l'affluent et à l'effluent des filtres ainsi qu'à trois profondeurs dans les milieux filtrants (15 cm, 80 cm et 140 cm). Les mêmes mesures sont effectuées pour l'effluent du filtre SA. Les résultats sont présentés au tableau 4.7. Les profils de carbone sont montrés aux figures 4.4 et 4.5 pour les filtres CAB 2-G et CAB et 5-D respectivement.

88-10-20

L'abattement total en COD à travers le filtre CAB 2-G du 88-10-20 est de 1,0 mg/L, soit 28% du COD de l'eau à l'affluent.

TABLEAU 4.7 – Concentrations de COA, de COR et de COD d'échantillon prélevés du 20 octobre 1988 au 28 février 1989

DATE FILTRE	TYPE DE CARBONE	CONCENTRATION EN CARBONE (mg/L) LIEU DE PRÉLÈVEMENT						ABATTEMENT	
		EFF SA	AFF CAB	15 cm	80 cm	140 cm	EFF CAB	AFF–EFF (mg/L)	(ABAT./AFF)*100 (%)
88-10-20	COD initial	3,49	3,50	3,15	2,78	2,61	2,52	0,98	28
CAB-20	COR	3,33	2,75	2,70	2,59	2,29	2,50	0,25	9
	COA	0,16	0,75	0,46	0,19	0,32	0,02	0,73	97
88-12-07	COD initial	3,11	3,08	2,97	2,81	2,63	2,57	0,51	17
CAB-20	COR	3,09	2,88	2,79	2,71	2,48	2,40	0,48	17
	COA	0,02	0,20	0,18	0,10	0,15	0,17	0,03	15
CAB-50	COD initial	3,11	3,07	2,98	2,74	2,55	2,45	0,62	20
	COR	3,09	2,80	2,72	2,53	2,34	2,30	0,50	18
	COA	0,02	0,27	0,26	0,21	0,21	0,15	0,12	44
88-12-12	COD initial	3,14	3,16	3,11	2,78	2,82	2,55	0,61	19
CAB-20	COR	3,14	2,87	2,82	2,67	2,61	2,55	0,32	11
	COA	0,00	0,29	0,29	0,11	0,31	0,00	0,29	100
CAB-50	COD initial	3,14	3,17	3,02	2,86	2,75	2,48	0,69	22
	COR	3,14	2,87	2,91	2,75	n.d.	2,49	0,38	13
	COA	0,00	0,30	0,11	0,11	n.d.	0,00	0,30	100
89-01-17	COD initial	2,95	2,98	2,88	2,64	2,66	2,53	0,45	15
CAB-20	COR	2,91	2,67	2,58	2,62	2,47	2,36	0,31	12
	COA	0,04	0,31	0,30	0,12	0,19	0,17	0,14	45
CAB-50	COD initial	2,95	2,96	2,86	2,61	2,57	2,27	0,69	23
	COR	2,91	2,50	2,48	2,42	2,43	2,33	0,17	7
	COA	0,04	0,46	0,38	0,19	0,14	0,00	0,46	100
89-02-28	COD initial	2,83	2,89	2,77	2,58	2,45	2,43	0,46	16
CAB-20	COR	2,93	2,53	2,62	2,60	2,54	2,50	0,03	1
	COA	0,00	0,36	0,15	0,00	0,00	0,00	0,36	100
MOYENNE 6 échant.	COD initial	3,09	3,10	2,97	2,73	2,63	2,48	0,63	20,2
	COR	3,07	2,73	2,70	2,60	2,44	2,43	0,31	11,2
	COA	0,04	0,37	0,27	0,13	0,19	0,06	0,30	82,7
MOYENNE eau froide	COD initial	3,03	3,04	2,94	2,72	2,63	2,47	0,58	18,9
	COR	3,03	2,73	2,70	2,60	2,05	2,42	0,31	11,2
	COA	0,02	0,31	0,24	0,12	0,14	0,07	0,24	72,1
MOYENNE eau chaude	COD initial								
	COR			VOIR 88/10/20					
	COA								
MOYENNE filtre CAB–20	COD initial	3,10	3,12	2,98	2,72	2,63	2,52	0,60	19,0
	COR	3,06	2,74	2,70	2,62	2,46	2,46	0,28	9,9
	COA	0,04	0,34	0,24	0,08	0,16	0,04	0,31	71,5
MOYENNE filtre CAB–50	COD initial	3,07	3,07	2,95	2,74	2,62	2,40	0,67	21,8
	COR	3,05	2,72	2,70	2,67	2,39	2,37	0,35	12,6
	COA	0,02	0,34	0,25	0,17	0,18	0,05	0,29	81,5

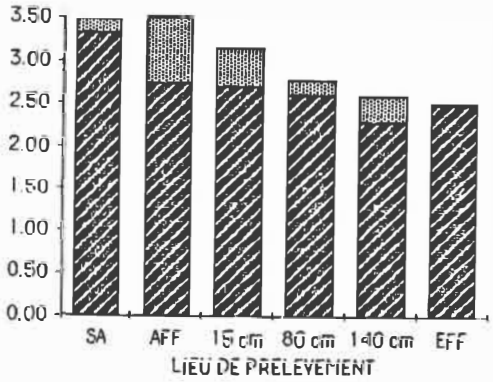


Figure 4.4 a) 88-10-20

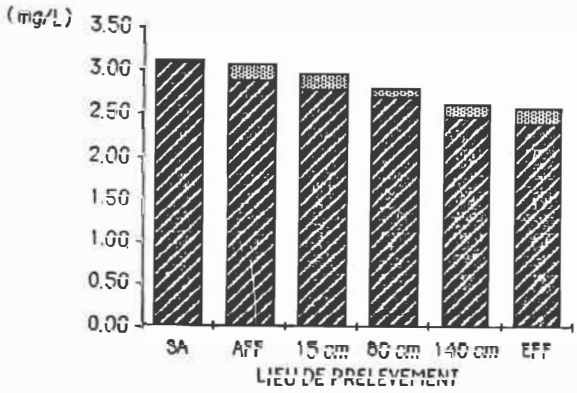


Figure 4.4 b) 88-07-12

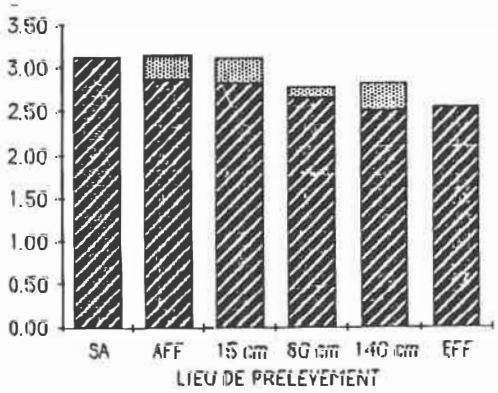


Figure 4.4 c) 88-12-12

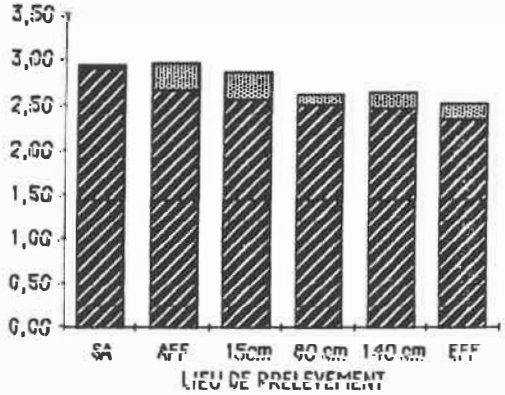


Figure 4.4 d) 89-01-17

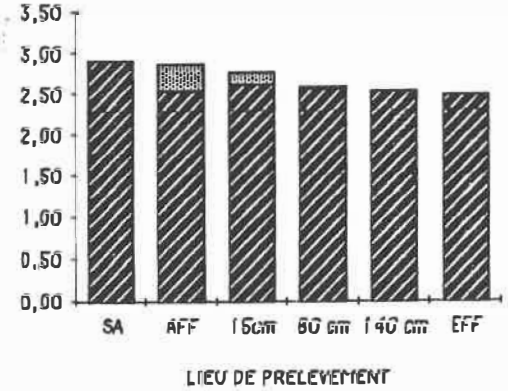


Figure 4.4 e) 89-02-28



FIGURE 4.4 - *Profils du carbone organique, filtre CAB 2-G 20 octobre 1988 au 28 février 1989*

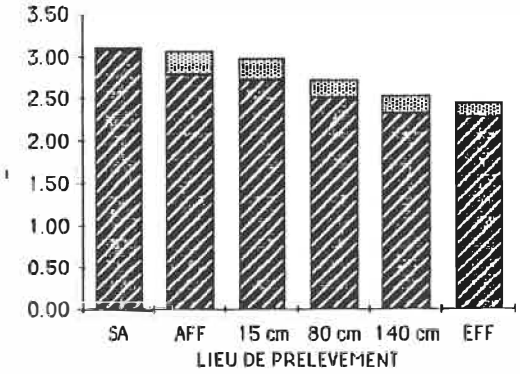


Figure 4.5 a) 88-12-07

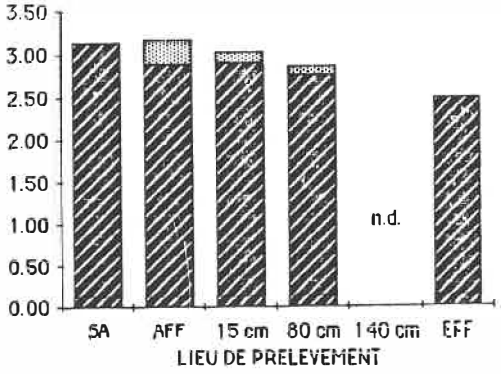
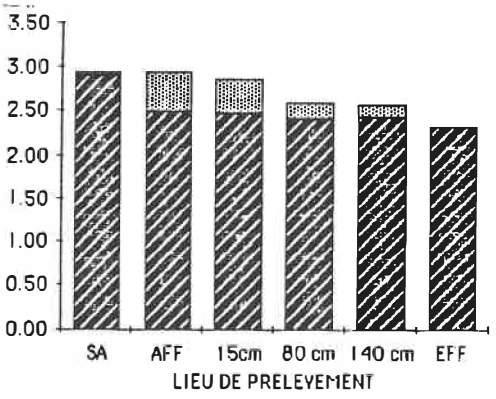


Figure 4.5 b) 88-12-12



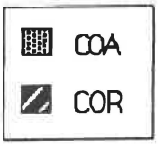


Figure 4.5 c) 89-01-17

FIGURE 4.5 - Profils du carbone organique, filtre CAB 5-D
7 décembre 1988 au 17 janvier 1989

Cette baisse correspond à un enlèvement complet du COA présent initialement (0,73 mg/L) et à un enlèvement en carbone réfractaire de 0,25 mg/L. On observe un enlèvement de 40% du COA dans les premiers 15 cm du filtre.

88-12-07

L'enlèvement global en COD est de 0,51 et de 0,62 mg/L à travers les filtres CAB 2-G et CAB 5-D. Cet enlèvement s'effectue de façon progressive à travers les deux filtres. Contrairement à l'échantillonnage du mois d'octobre, le COA formé après ozonation est faible (< 0,27 mg/L). La réduction du COA est à peu près nulle (0,12 mg/L). L'abattement en COD observé est ainsi dû principalement à une réduction du carbone organique réfractaire de 0,5 mg/L.

88-12-12

Le COA présent dans l'eau de l'affluent des filtres CAB est faible (0,3 mg/L). Contrairement à ce qui a été observé sur les eaux échantillonnées cinq jours plus tôt, l'abattement en COA à travers le filtre est complet (100%). On constate cependant un relargage de COA dans la couche du filtre CAB 2-G comprise entre 80 et 140 cm mais un enlèvement complet dans la dernière couche. Ce filtre enlève la même quantité de COD que lors de l'échantillonnage précédant, sauf que la proportion en COA est plus importante. Les mêmes observations sont faites dans le filtre CAB 5-D qui enlève également tout le COA.

89-01-17

L'enlèvement du COD est plus important dans la couche qui se situe entre 15 à 80 cm de profondeur, soit environ 0,25 mg/L pour les deux filtres. Pour le filtre CAB 2-G, le COA est réduit de 55% (abattement de 0,14 mg/L sur 0,31 mg/L), alors qu'il et éliminé complètement dans le filtre CAB 5-D.

89-02-28

Des eaux n'ont été prélevées que dans le filtre CAB 2-G. L'abattement de 16% de COD observé à travers ce filtre est le plus faible obtenu jusqu'à maintenant. L'enlèvement de COA est complété dans les 80 premiers centimètres de charbon, alors que la concentration de COR demeure à peu près inchangée.

4.2.2.3 Effets de l'ozonation

L'effluent des filtres SA traverse deux chambres d'ozonation avant d'être pompé vers les filtres CAB. Tel qu'indiqué au tableau 4.2, la concentration d'ozone résiduel, après la deuxième chambre, varie entre 0,43 et 0,49 mg O_3/L. Au tableau 4.7 il est observé que les COD de l'effluent des filtres SA et de l'affluent des filtres CAB sont semblables, soit 3,5 mg/L en eau chaude et 3,4 mg/L en eau froide. Ainsi, l'ozonation ne modifie pas la quantité de COD. Cependant, la qualité du carbone varie. En effet, l'ozonation

transforme 0,6 mg/L de carbone réfractaire en COA en été et près de 0,3 mg/L en hiver.

4.2.2.4 Effets du lavage des filtres

Le tableau 4.2 montre que trois échantillonnages ont été effectués alors que les filtres fonctionnaient depuis moins de 40 heures après un lavage, soit les filtres CAB 2-G et CAB 5-D (7 décembre 1988) et le filtre CAB 2-G (17 janvier 1989). Les autres échantillonnages ont été effectués sur des filtres opérant depuis 119 et 162 heures après lavage. Il est intéressant de noter qu'entre les campagnes d'échantillonnage du 7 et du 12 décembre, les deux filtres ont fonctionné sans interruption ni lavage. La figure 4.6 permet de comparer, pour chaque filtre, le profil d'enlèvement du COA. Pour le filtre CAB 2-G, l'enlèvement est faible (15%) lorsqu'il est fraîchement lavé, alors qu'un enlèvement de 100% est observé après 157 heures de fonctionnement. De même, l'enlèvement du COA est complet dans le filtre CAB 5-D lorsque la période de fonctionnement entre les lavages est plus longue (156 heures). Lors de l'échantillonnage des eaux du 17 janvier dans le filtre CAB 2-G, l'abattement en COA est à nouveau incomplet, soit 45%.

4.2.2.5 Effets de la profondeur du milieu filtrant

Quelles sont les couches du milieu filtrant qui contribuent à un enlèvement significatif du COA? Y a-t-il des couches inopérantes?

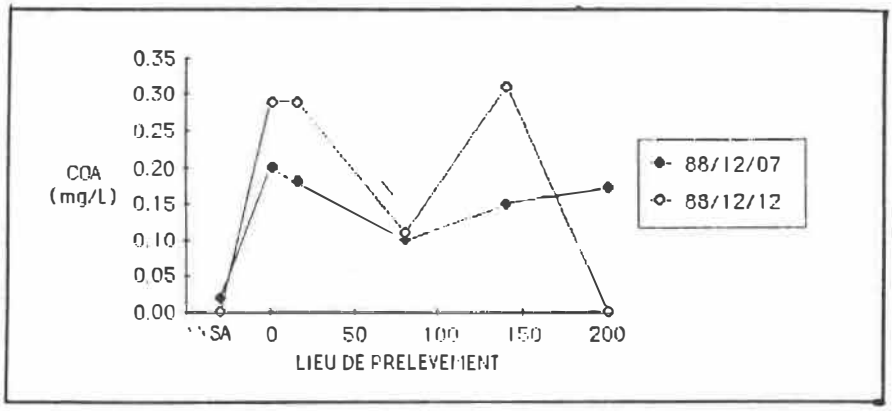


Figure 4.6 a) filtre CAB 2-G

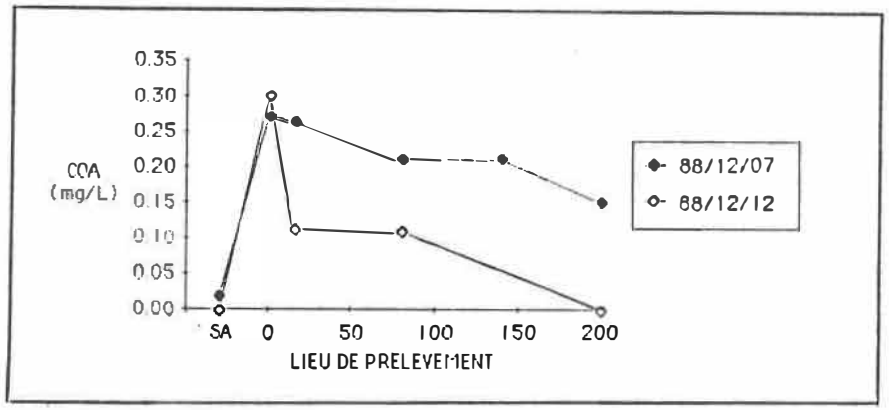


Figure 4.6 b) Filtre CAB 5-D

FIGURE 4.6 - Profils comparés du COA du 7 et 12 décembre 1988
Filtres CAB 2-G et 5-D

Pour répondre à ces questions, les résultats moyens des différents échantillonnages sont d'abord regroupés par couches (affluent, 15 cm, 80 cm, 140 cm, et effluent). Précisons que l'écart-type moyen de toutes les valeurs de COA est de 0,09 mg/L. Le coefficient de variation n'est pas fourni étant donné que plusieurs moyennes de COA voisinent zéro, enlevant toute signification à ce coefficient. Pour les valeurs de COD_{ti} (avant incubation) et COD_{tf} (après incubation), ce coefficient moyen est de 2%, permettant d'affirmer une bonne reproductibilité des mesures de COA.

Afin d'évaluer l'effet des couches, il est nécessaire de rejeter les résultats singuliers tels que ceux de l'échantillonnage d'été où le COA à l'affluent est 2,5 fois plus élevé. Seuls les résultats provenant de l'échantillonnage d'hiver sont analysés.

Une analyse de variance multiple est appliquée seulement si les résultats sont distribués normalement et si l'égalité des variances est respectée. Le test de Barlett permet de vérifier l'égalité des variances alors que l'hypothèse des normalités est posée (Hines et Montgomery, 1980). Selon les résultats moyens d'hiver Bcobs = 1,13 $< 13,28 = \chi^2_{0,05(4)}$, ce qui permet d'accepter l'hypothèse de l'égalité des variances. Selon le nombre d'observations (33), l'hypothèse de normalité est supposée. L'analyse de variances est appliquée pour tester les hypothèses suivantes:

H_o: Il n'y a pas de différences significatives entre les COA de deux couches considérées.

H_1: Il y a une différence significative entre les COA de deux couches considérées.

Le test de Fisher PLSD est utilisé pour un seuil de signification de 0,05. Une différence de 0,095 à 0,099 mg/L doit être enregistrée pour refuser H_o. Le tableau 4.8 présente ces résultats.

TABLEAU 4.8 Analyse des enlèvements de COA selon les couches du milieu filtrant (filtre CAB) Test de Fisher PLSD, $\alpha = 0,05$

Comparaison	Seuil du refus	Différence de COA - moyenne (mg/L)	Décision sur H_o
Affluent vs 15 cm	0,095	0,074	Acceptée
Affluent vs 80 cm	0,095	0,187	Refusée
Affluent vs 140 cm	0,099	0,144	Refusée
Affluent vs effluent	0,095	0,241	Refusée
15 cm vs 80 cm	0,095	0,113	Refusée
15 cm vs 140 cm	0,099	0,070	Acceptée
15 cm vs effluent	0,095	0,167	Refusée
80 cm vs 140 cm	0,099	- 0,043	Acceptée
80 cm vs effluent	0,095	0,054	Acceptée
140 cm vs effluent	0,099	0,097	Acceptée

Les différences de COA entre la couche 15 cm - 80 cm sont significatives, alors que l'enlèvement en COA après 80 cm ne l'est pas. Ainsi, l'enlèvement du COA est effectué dans les premiers 80 cm du milieu filtrant, ce qui correspond à un temps de contact en fût vide moyen de 11,7 ± 0,5 minutes.

4.2.2.6 Comparaison des concentrations de COA entre les filtres CAB 2-G et CAB 5-D

Les concentrations de COA mesurées l'hiver sont groupées par filtre (F2-G, F5-D) et comparées selon les couches filtrantes. Une analyse de variance à deux critères de classification (profondeur du filtre, type de filtre) est effectuée. L'hypothèse qu'il n'y a pas de différence selon la profondeur du milieu filtrant est effectivement refusée avec une probabilité d'erreur de 1,4%, ce qui est en accord avec les résultats présentés en 4.2.2.5. L'hypothèse suivante H_o est également testée.

H_o : Il n'y a pas de différence de concentration de COA entre les filtres F2-G et F5-D).

La valeur du F calculée pour ce test est de 0,04, ce qui est nettement inférieur à $F_{\alpha,v_1,v_2} = 4,38$, où $\alpha = 0,05$, $v_1 = 1$ et $v_2 = 19$, ce qui implique qu'on ne peut refuser l'hypothèse H_o. Les valeurs de COA sont donc statistiquement semblables d'un filtre à l'autre.

4.2.3 COA - Épifluorescence

4.2.3.1 Échantillonnage du 20 octobre 1988

Un suivi quotidien de la biomasse contenue dans l'effluent des filtres SA, l'affluent et l'effluent CAB, et dans les eaux à trois profondeurs (15, 80 et 140 cm) d'un filtre CAB, est effectué pour les onze premiers jours. Six autres mesures de biomasse ont été réalisées entre les jours 13 et 35 d'incubation.

De façon générale, trois types de bactéries se développent dans les bouteilles d'incubation: bactéries curviformes, bâtonnets et coques, le premier type étant le plus fréquent. Chaque type est dénombré individuellement sur 5 champs de chaque lame. Le coefficient de variation moyen entre ces champs pour les bactéries curviformes est de 15,6 % pour une moyenne de 44,4 bactéries/champ. Le calcul de la biomasse quotidienne s'effectue par la sommation des biomasses de chaque type. Ces résultats sont présentés en annexe.

Les courbes d'évolution de la biomasse en fonction du temps pour les différentes eaux suivent à peu près les mêmes tendances. La courbe moyenne pour l'eau affluent du filtre CAB est la plus représentative et est fournie à la figure 4.7 a). L'incubation étant réalisée en duplicata, les deux séries de résultats sont également présentées à la figure 4.7 b). Les courbes pour chaque les point d'échantillonnage sont présentées en annexe.

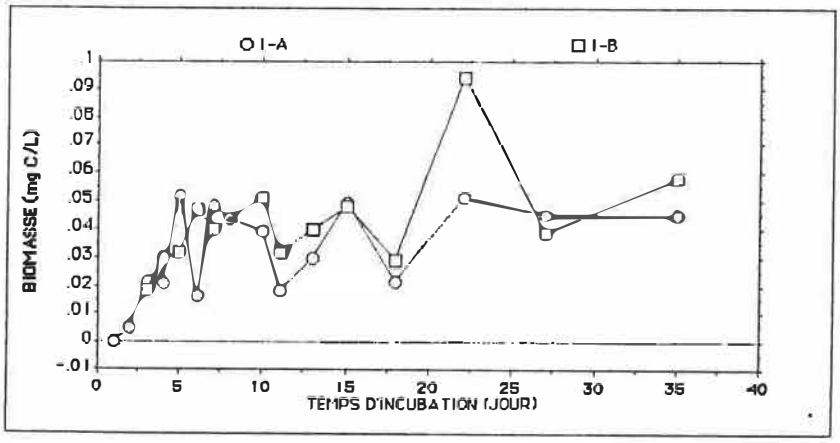


Figure 4.7 b) Courbes des duplicatas

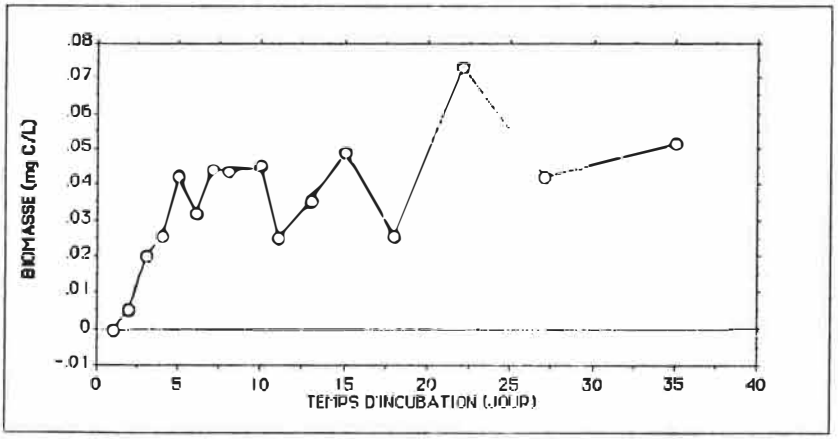


Figure 4.7 a) Courbe moyenne

FIGURE 4.7 - Courbes d'évolution de la biomasse, affluent CAB 2-G, 88/10/20

La phase de latence est relativement courte et ne dure qu'entre 1 et 2 jours (l'effet de l'inoculum à t_o ne peut être détecté - son apport en biomasse étant approximativement de 5×10^{-4} mg c/L). Le développement exponentiel et la croissance lente ont lieu du deuxième au cinquième jour. Le résultat moyen (Fig. 4.7a) indique une croissance arithmétique (t_1 à t_5) suivie d'une phase stationnaire. Durant la phase stationnaire on observe des variations faibles de biomasse. Après 35 jours d'incubation, la biomasse est à peu près égale à 0,04 mg C/L, soit la valeur observée à la fin de la phase de croissance (après 5 jours d'incubation). Une phase de décroissance nette, telle qu'observée dans la plupart des essais d'incubation en cuvée, ne s'est pas produite. Dans aucune des eaux incubées la biomasse n'est redescendue à la valeur de départ ou ne s'en est rapprochée. Une bonne correspondance des valeurs de biomasse entre les duplicatas est à remarquer.

Détermination du COA

La détermination du COA s'effectue par intégration de la courbe de biomasse selon la formule (3.2):

$$COA = \frac{kd}{Y} \int_{to}^{t_f} B \, dt \qquad (3.2)$$

La limite supérieure de l'intégration (t_f) correspond à la fin de la période de décroissance. Comme cette étape n'est pas

observée, l'intégrale est d'abord calculée pour toute la phase d'incubation (35 jours).

La limite de l'intégrale, t_f est ensuite fixée afin d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus par la procédure de différence de COD. Ces différents résultats sont présentés au tableau 4.9. Les constantes d'intégration choisies sont celles proposées par l'auteur ($kd = 0,01\ h^{-1}$, $y = 0,3$).

TABLEAU 4.9 Concentrations moyennes de COA selon différents temps d'incubation pour des eaux filtrées sur filtres SA et CAB 2-G (procédures à l'épifluorescence et par différence de COD, 88.10.20)

	COA - épifluorescence (mg/L)			
Échantillon	Intégration de t_o à t_{35}	Intégration de t_o à t_f	tf (d)	COA Différence de COD (mg/L)
Effluent SA	0,90	0,28	5	0,16
Affluent CAB	1,14	0,84	27	0,75
15 cm	0,99	0,41	18	0,45
80 cm	0,90	0,20	13	0,19
140 cm	0,77	0,27	18	0,32
Effluent CAB	0,63	0,10	10	0,02

Après 35 jours d'incubation, les concentrations de COA varient, selon le type d'eau, entre 0,63 et 1,14 mg/L. Dans le filtre CAB, la concentration de COA diminue en fonction de la profondeur. De même, une augmentation de COA est observée entre les étapes effluent SA et affluent CAB.

Les concentrations de COA mesurées par différence du COD (réalisées sur les mêmes bouteilles d'incubation), sont toutes inférieures de 0,39 à 0,74 mg/L. Les résultats obtenus par les deux méthodes

devraient pourtant être similaires. La limite supérieure d'intégration est alors raccourcie et posée en fonction des résultats de différence de COD. Le tableau 4.9 montre que cette limite varie entre 5 et 27 jours. Il n'y a donc pas de tendance nette indiquant une zone d'intégration commune.

Les profils de COD en fonction du temps pour les deux échantillons d'eau de l'affluent sont présentés aux figures 4.8 a) et 4.8 b). L'enlèvement de 0,75 mg/L est réalisé en 7 jours. Pour mesurer un pareil enlèvement à l'aide de la méthode à l'épifluorescence, l'intégration doit être faite sur 27 jours.

4.2.3.2 Échantillonnage du 7 décembre 1988

Le suivi de l'évolution de la biomasse est effectué pour l'effluent SA et l'eau du filtre CAB 5-D (affluent, 15 cm, 80 cm, 140 cm, et effluent). Les bactéries ont les mêmes formes générales que lors de l'échantillonnage précédent: sphères, bâtonnets, et curviformes. Cette fois-ci, les bactéries ayant la forme de bâtonnets sont plus nombreuses que les bactéries curviformes; elles représentent près de 84% des comptes bactériens. Le coefficient de variation sur le dénombrement entre les cinq champs pour les bâtonnets est de 20%. Les diverses dimensions des bactéries mesurées au microscope par réticule calibré sont présentées au tableau 4.10. Une largeur de 0,8 μm pour une longueur de 2,4 μm (volume de 0,94 μm^3) sont les dimensions des bâtonnets les plus fréquentes.

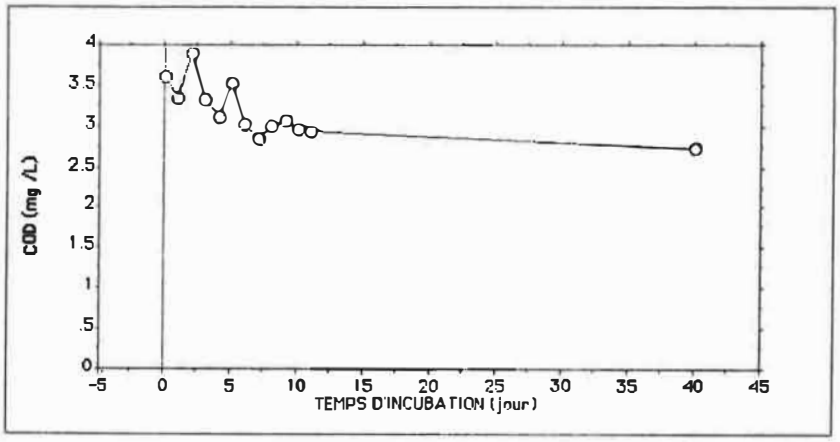


Figure 4.8 a) bouteille a

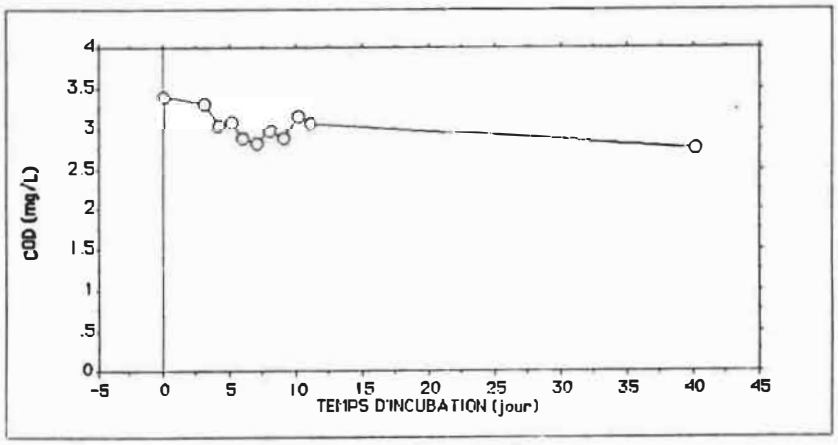


Figure 4.8 b) bouteille b

FIGURE 4.8 - Profils du COD selon le temps d'incubation, affluent CAB 2-G, 88-10-20

TABLEAU 4.10 Dimensions et volume bactériens mesuré à l'épifluorescence 88/12/07

Bactéries	Largeur W		Longueur L		Volume moyen
	(µm)	(mode)	(uµ)	(mode)	(μm^3)
Coque	0,4 @ 1,6	0,5	0,4 @ 1,6	0,5	0,46
Bâtonnet	0,4 @ 0,8	0,8	1,2 @ 4,8	2,4	0,94
Curviforme	0,4 @ 0,8	0,8	1,2 @ 8,8	3,2	1,14

A la figure 4.9 sont présentées les évolutions de la concentration de biomasse en fonction du temps d'incubation dans l'affluent et l'effluent ainsi qu'à 15 cm de profondeur dans le filtre CAB. Les courbes de l'affluent et de l'effluent présentent des profils similaires. Des croissances maximales de 0,12 et 0,13 mg C/L sont obtenues après 8 et 7 jours pour l'affluent et l'effluent respectivement. Une décroissance importante est ensuite observée jusqu'à la 14e journée. Les biomasses présentes dans l'affluent et l'effluent sont alors de 0,0132 et 0,0011 mg C/L. Après cette première phase, une deuxième croissance est enregistrée. Après 28 jours la biomasse contenue dans l'eau de l'affluent correspond à 95% de la valeur maximale citée plus haut.

La courbe de profil de biomasse pour l'eau située à 15 cm de profondeur dans le milieu filtrant est différente des deux courbes précédentes. La croissance est plus lente et se termine à 0,2 mg C/L

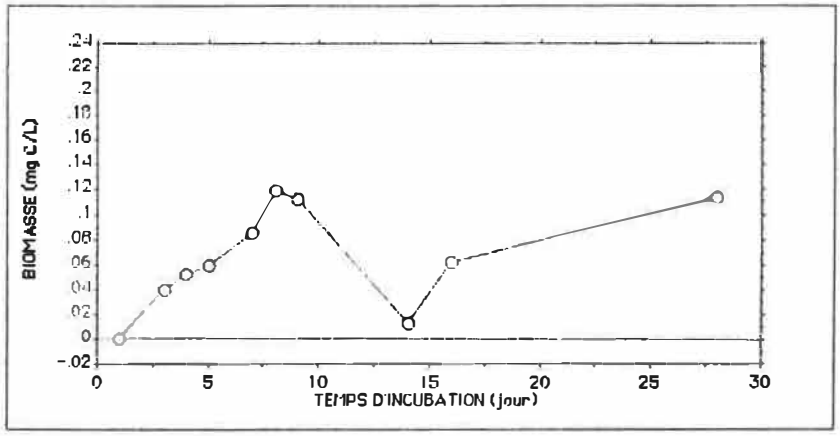


Figure 4.9 a) Affluent CAB

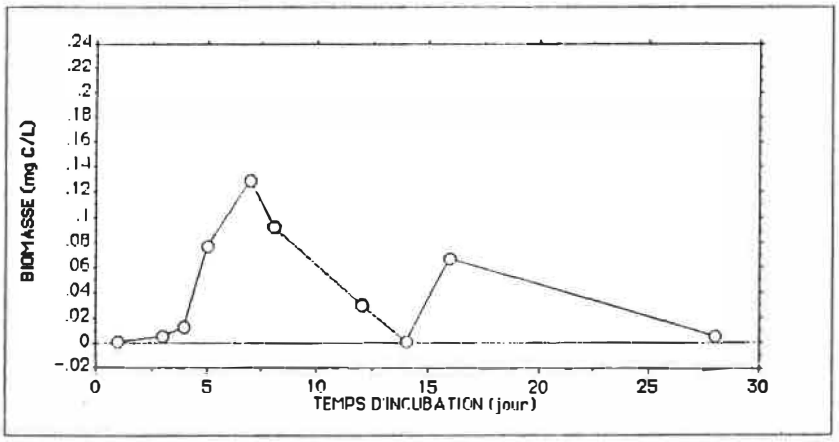


Figure 4.9 b) Effluent CAB

FIGURE 4.9 - Courbes d'évolution de la biomasse, filtre CAB 5-D affluent, effluent et 15 cm sous la surface, 88-12-07

après 10 jours. La décroissance subséquente réduit de 60% la concentration maximale de biomasse laquelle atteint 0,084 mg C/L après 12 jours. Une légère remontée apparaît après 2 jours. A la 28e journée d'incubation, la biomasse demeure à peu près au même niveau que celle enregistrée depuis la 5e journée d'incubation.

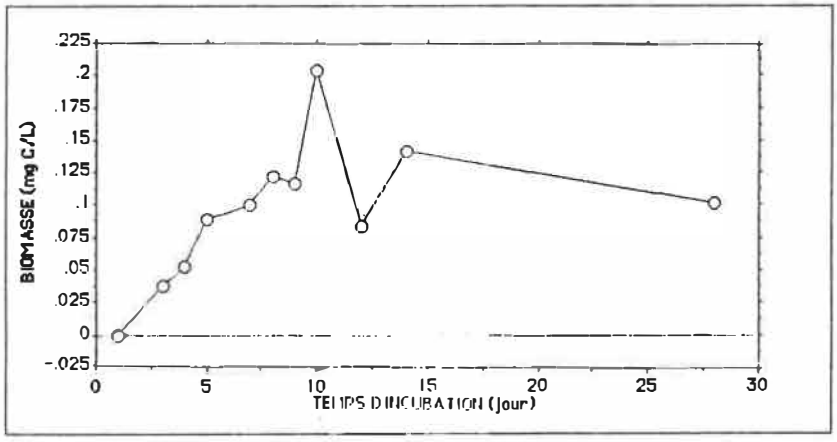


Figure 4.9 c) eau à 15 cm sous la surface

Les valeurs de COA sont calculées jusqu'à l'obtention d'une première décroissance importante de la biomasse, qui intervient généralement après 10 jours. Ces résultats sont présentés au tableau 4.11, avec les valeurs d'azote ammoniacal et de phosphore mesurées à T_o.

TABLEAU 4.11 Résultats du COA, de l'azote et du phosphore initiaux pour les effluents des filtres SA et CAB 5-D mesurés à l'épifluorescence 88/12/07 : y = 0,3, kd = 0,02 h^{-1}

Échantillon	COA (mg C/L)	final	NH_3 (μg/L-N)	PO_4 (μg/L-P)
Effluent SA	0,31	T_{10}	49	< 10
Affluent CAB	0,65	T_{14}	54	< 10
15 cm de profondeur	0,82	T_{12}	n.d.	n.d.
80 cm de profondeur	0,55	T_9	n.d.	n.d.
140 cm de profondeur	0,91	T_{10}	n.d.	n.d.
Effluent CAB	0,52	T_4	49	< 10

Le COA de l'effluent du filtre SA est de 0,31 mg C/L. Il double après ozonation pour se situer à 0,65 mg/L. On assiste à un relargage et à un enlèvement successifs dans le filtre, selon les profondeurs. Le COA à l'effluent est de 0,52 mg/L, soit une efficacité d'enlèvement de seulement 20%. Une pointe à 0,91 mg/L est enregistrée à 140 cm de profondeur. Ces valeurs de COA sont toutes de 2,2 à 4,5 fois plus élevées que celles mesurées par le suivi de différences du COD (Tableau 4.7). Elles sont obtenues en présence de près de 50 μg N/L d'azote ammoniacal et de moins de 10 μg P/L de p phosphore total à t_o.

Lors de l'évaluation des biovolumes - étape nécessaire à l'obtention des biomasses - on note que les dimensions des bactéries d'un même type varient selon le temps d'incubation. Une moyenne du rapport surface/volume (S/V) bactérien est calculée pour chaque journée d'incubation pour les bactéries de type bâtonnet et curviforme: les formules 3.6 et 4.1 sont utilisées pour le calcul de V et de S respectivement.

L'évolution de S/V est présentée à la figure 4.10. A remarquer que la valeur de S/V pour chaque type de bactérie est une moyenne effectuée sur les dimensions des bactéries de toutes les eaux pour une même journée.

Surface bactérienne $S = W(L + W/2)\pi$ (4.1)

W = largeur des bactéries (μm)
L = longueur des bactéries (μm).

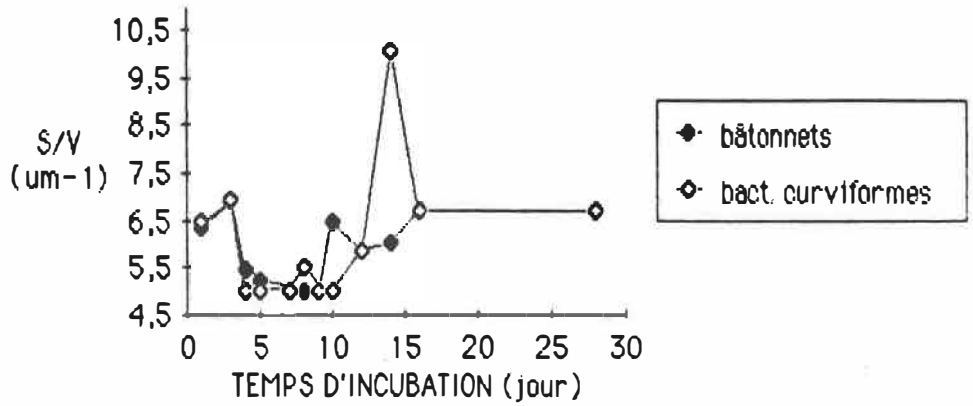


FIGURE 4.10 Évolution du rapport surface/volume des bactéries lors de l'incubation, eaux des filtres CAB 5-G et effluent du filtre SA - mesurés à l'épifluorescence - 88/12/07

Le rapport S/V est de 6,4 au temps initial. Il augmente légèrement à 7 à la 3e journée d'incubation et descend, pour les 6 à 7 journées suivantes, autour de 5,1. Après la 10e journée, il entreprend une remontée jusqu'à son niveau initial, soit près de 6,7. Les profils pour les formes bâtonnets et curviformes sont à peu près les mêmes. A T_{14}, on enregistre cependant une valeur anormalement élevée de 10 pour les bactéries curviformes. Cela est dû à l'évaluation moyenne plus basse de la largeur des bactéries provenant d'un changement de personnel procédant aux décomptes des bactéries.

4.3 COA - Méthode van der Kooij

Des mesures de COA réalisées par croissance de la souche bactérienne P17 ont été réalisées du 20 octobre 1988 au 28 février 1989 sur les eaux des filtres CAB 2-G et 5-D. Les résultats de ces analyses concernant des contaminants en carbone et la détermination du coefficient de croissance de P17 sont présentés dans cette section.

4.3.1 Contamination en carbone

Trois types de bouchons assurant l'étanchéité des fioles d'incubation d'échantillons d'eau sont testés afin de déterminer leur relargage en COT. De l'eau MilliQ est mise en contact avec les divers bouchons. Des mesures de COT prises après 1,5 et 8 jours révèlent que le bouchon en carton ciré relargue de 1,2 à 2,0 mg/L. Dans le cas des bouchons en Téflon du manufacturier ou en Téflon industriel(1) les COT ont été égaux jusqu'à la fin de l'incubation à ceux de l'eau MilliQ. Les bouchons en carton ciré ne peuvent donc pas être utilisés pour la mesure du COA selon la méthode de van der Kooij.

4.3.2 Détermination du coefficient de croissance (Y) de la souche P17

Six séries d'expérience ont été réalisées afin de déterminer le coefficient Y de la souche Pseudomonas P17. La méthodologie utilisée présente plusieurs variantes décrites en détail à la section 3.3.3.3.

(1) E.I. DuPont De Nemours & Company

Séries 1 @ 4

Diverses concentrations en acétate (0 @ 100 mg acétate-C/L) sont ajoutés à l'eau du robinet. La stérilisation des échantillons et des pipettes s'effectue à l'autoclave.

Les nombres maximaux de bactéries (Nmax) en fonction des concentrations pour chacun des quatre essais sont présentés au tableau 4.12. Pour déterminer le coefficient Y, il s'agit d'obtenir une relation linéaire entre les Nmax et les concentrations en acétate. Aucune tendance linéaire n'est observée pour les 4 premières séries. Il est ainsi impossible de calculer le coefficient Y.

TABLEAU 4.12 Nombre maximal de colonies (Nmax) de P17 selon diverses concentrations en acétate - essais 1 @ 4

Concentration en acétate	Nmax (x 10^6 UFC/mL)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
0	1,0	1,4	-	6,0
5 µg/L	1,8	1,5	-	-
10 µg/L	1,4	9,1	-	-
50 µg/L	2,1	35	-	-
100 µg/L	0,72	18	2,8	2,6
1 mg/L	0,33	2,2	0,46	5,0
10 mg/L	0,50	4,2	14,2	1,2
50 mg/L	n.d.	n.d.	2,6	1,8
100 mg/L	3,5	5,0	-	-

Série no 5

Des concentrations en acétate de sodium de 0,0, 0,5 et 1,0 mg C/L sont ajoutées à une eau physiologique préparée à partir de l'eau MilliQ. Chaque concentration est incubée en triplicata et étalée simplement. La stérilisation des standards d'acétate et des pipettes a auparavant été effectuée à l'autoclave.

Les Nmax mesurés pour chaque concentration sont présentés au tableau 4.13. Le Nmax moyen pour la concentration en acétate de 0,5 mg/L est de 1,4 x 10^7 UFC/mL, soit trois fois plus élevé que celui obtenu avec 1,0 mg C/L qui est de 4,0 x 10^6 UFC/mL. Ici encore il ne semble pas y avoir de lien du premier degré entre la concentration en acétate et le Nmax.

TABLEAU 4.13 Nmax de P17 selon les concentrations en acétate - série no 5

	Nmax (UFC/mL)		
flacons	sans acétate	0.5 mg acétate-C/L	1.0 mg acétate-c/L
A	2.90E+06	2.40E+07	2.90E+06
B	2.10E+05	1.50E+07	5.70E+06
C	6.00E+06	4.00E+06	3.40E+06
moy ABC	3.00E+06	1.40E+07	4.00E+06

Série no 6

Les divers flacons suivants sont incubés avec la souche P17:

a) 3 flacons contenant 1 mg d'acétate-C/L dans eau physiologique, étalés en triplicata (1,0-A, 1,0-B, 1,0-C)
b) 1 flacon contenant 0,5 mg d'acétate-C/L dans eau physiologique
c) 1 flacon d'eau physiologique (sans acétate)
d) 1 flacon d'eau MilliQ sans ajout de sel et sans acétate
e) 2 flacons similaires à a) dénombrés une seule fois après 6 jours (1,0-E, 1,0-F).

La procédure de préparation est celle de la méthode adaptée telle que décrite à la section 3.3.3.3.1. La stérilisation des échantillons ne s'effectue plus à l'autoclave mais dans un four à 60°C pendant 30 minutes. Les pipettes sont maintenant stérilisées au four à 180°C pendant 4 heures.

Plusieurs résultats intéressants sont obtenus à partir de cet essai. D'une part, un accroissement linéaire apparaît pour la première fois entre la concentration en acétate et le dénombrement de colonies (Tableau 4.14). Le coefficient de croissance calculé y est de $3,6 \times 10^6$ UFC/μg acétate-C.

TABLEAU 4.14 Colonies maximales de P17, série no 6

Echantillon (mg acétate-C/L)	Nmax (UFC/mL)	temps d'incubation à Nmax (d)	colonies à t=6d (UFC/mL)
1,0-A	3,53E+06	3	1,40E+06
1,0-B	3,20E+06	3	1,90E+06
1,0-C	4,10E+06	3	1,80E+06
0,5	1,80E+06	3	
0,0-MilliQ+sel	1,10E+06	3	
0,0-MilliQ	1,05E+06	3	
1,0-E (6d)	n.d.	n.d.	1,40E+06
1,0-F (6d)	n.d.	n.d.	1,50E+06

D'autre part, les Nmax dans l'eau physiologique (MilliQ + sels) et dans l'eau MilliQ seule donnent des résultats similaires de 1,1 x 10^5 UFC/mL. Cependant, les profils de croissance sont différents: P17 se maintient aisément dans l'eau physiologique pendant quatre jours, alors qu'une chute brusque de la population est enregistrée à t = 4 d pour l'eau sans sel (Figure 4.11).

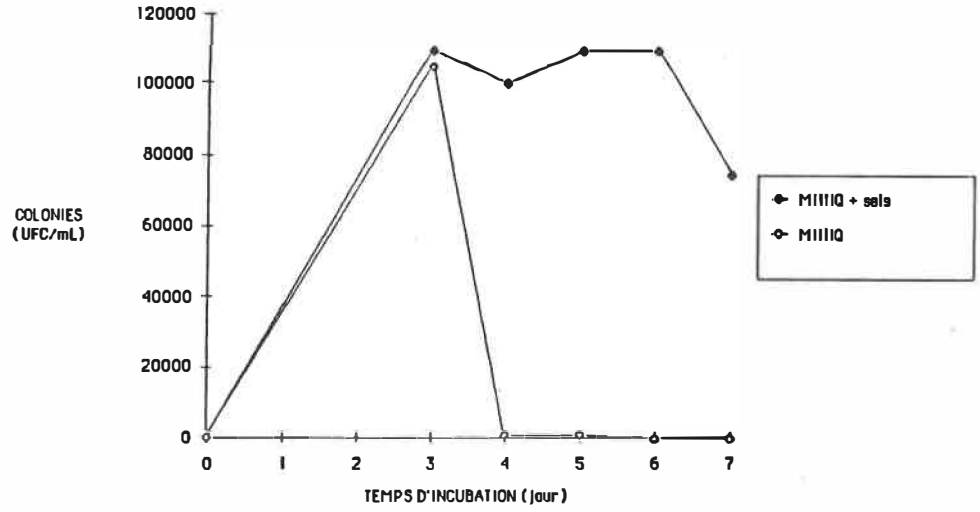


FIGURE 4.11 Profils de croissance de P17 dans l'eau MilliQ avec ou sans sels physiologiques

Le déroulement dans l'eau des fioles 1,0-A, 1,0-B, 1,0-C, est fait quotidiennement par étalement jusqu'au sixième jour, alors que pour les fioles 1-E et 1-F le dénombrement ne se fait qu'à la toute fin des six jours. Après six jours d'incubation, le nombre moyen de colonies dans le premier groupe est de 1,70 x 10^6/mL, et de 1,45 x 10^6/mL dans le deuxième groupe. Le pipettage quotidien ne semble donc pas influencer les résultats de dénombrement.

Série no 7

Un dernier essai de calibration est mené le 3 octobre 1989. Des échantillons de 0,0, 0,5 et 1,0 mg acétate-C/L sont incubées en duplicatas. Les résultats de cette série (où Y = 3,4 x 10^6 UFC/µg acécate-C) et ceux de la série précédente sont portés sur un même graphique et sont présentés à la Figure 4.12. Le Y obtenu par régression linéaire est de 3,5 x 10^6 UFC/µg acétate-C pour une R^2 = 0,9. Cette valeur est adoptée pour le calcul des COA des échantillons d'eaux des filtres CAB (section suivante).

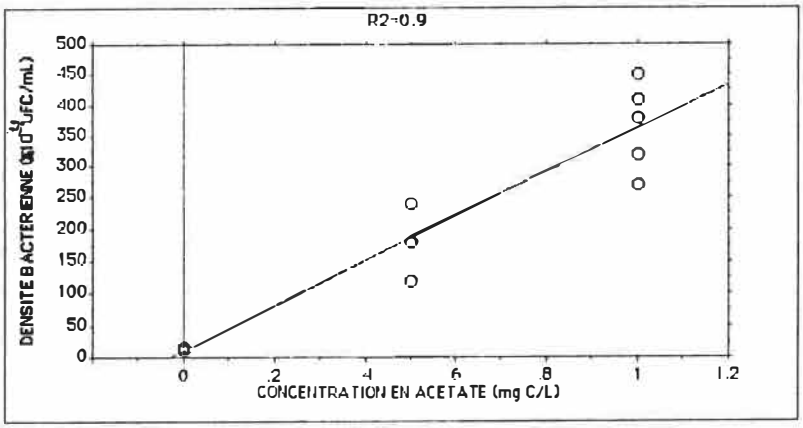


FIGURE 4.12 Détermination du coefficient de croissance Y de P17 selon les séries #6 et #7

4.3.3 Campagnes du 20 octobre 1988 au 28 février 1989

4.3.3.1 Profils du COA dans les filtres CAB 2-G et 5-D

Trois campagnes d'échantillonnage sont réalisées (12 décembre 1988, 17 janvier et 28 février 1989) afin de mesurer la concentration de COA dans les filtres CAB 5-D et 2-G aux sites habituels: affluent; 15 cm, 80 cm et 140 cm de profondeur; effluent. Ces campagnes sont identiques à celles effectuées lors de la méthode Billen-Servais. L'effluent des filtres SA est également analysé. Les eaux du filtre CAB 2-G ont aussi été échantillonnées en octobre 1988 afin de mesurer le COA dans une plus chaude.

Les résultats des mesures de COA sont présentés à la Figure 4.13. Rappelons que le COA est calculé en divisant la moyenne des Nmax des duplicatas des bouteilles d'incubation par le coefficient de croissance ($Y = 3,5 \times 10^6$ UFC/μg acétate-C), calculé à la section 4.3.2.

L'ensemble des valeurs de COA pour les deux filtres est inférieur à 250 μg acétate-C/L. L'ozonation crée une augmentation du COA d'environ 75 μg acétate-C/L. La valeur maximale de COA n'est cependant pas enregistrée à l'affluent des filtres CAB: Des accroissements moyens de 25 et 55 μg jusqu'à 15 cm sous la surface des filtres sont mesurés (Tableau 4.15).

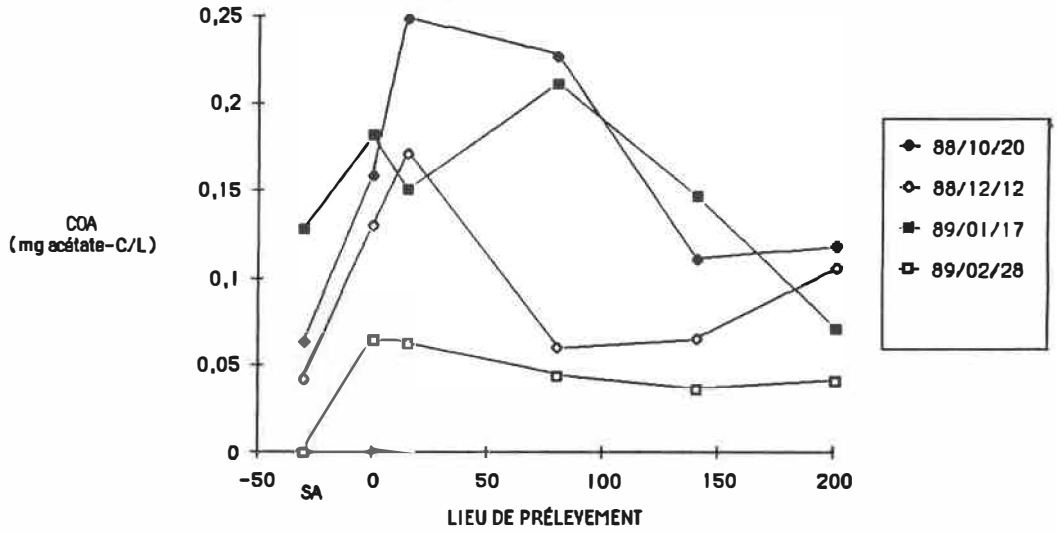


Figure 4.13 a) Filtre CAB 2-G

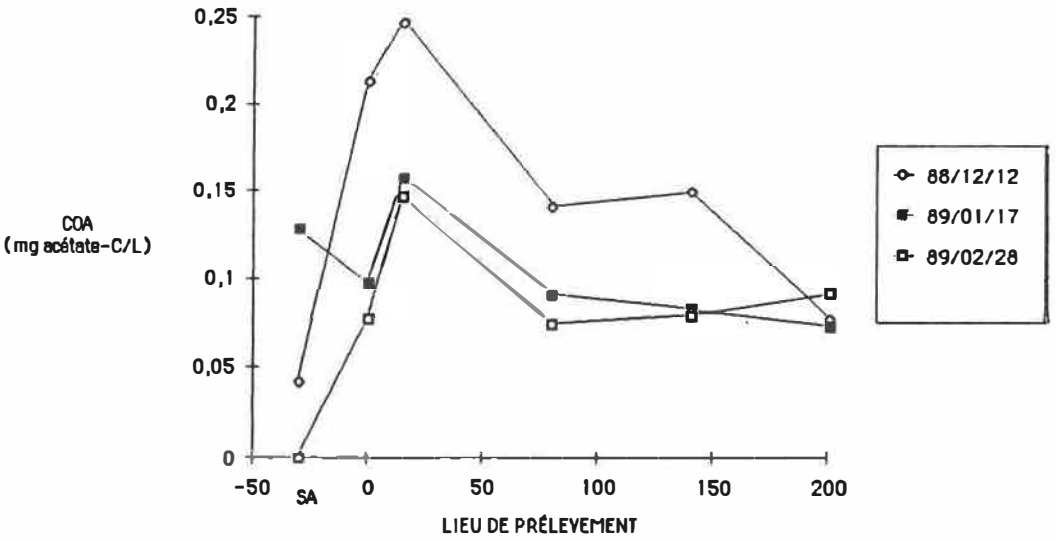


Figure 4.13 b) Filtre CAB 5-D

FIGURE 4.13 - Profils de COA dans les filtres CAB 2-G et CAB 5-D méthode van der kooij, souche P17

TABLEAU 4.15 - Comparaison des 4 échantillonnages ,88/10/20 au 89/02/28, méthode van der Kooij

COA (mg acétate-C/L)

F-2G lieu de prélèvement	88/10/20	88/12/12	89/01/17	89/02/28	moyenne
sa	0,063	0,042	0,128	0,000	0,058
ozonée	0,159	0,130	0,181	0,064	0,134
15 cm	0,249	0,171	0,151	0,063	0,159
80 cm	0,227	0,060	0,211	0,044	0,136
140 cm	0,111	0,066	0,147	0,036	0,090
effluent (200 cm)	0,119	0,106	0,071	0,041	0,084

Enlèvement en COA (mg acétate-C/L)

F-2G	88/10/20	88/12/12	89/01/17	89/02/28	moyenne
SA et -25 cm	-0,096	-0,088	-0,053	-0,064	-0,075
-25 cm et 15 cm	-0,090	-0,041	0,030	0,001	-0,025
15 cm et 80 cm	0,022	0,111	-0,060	0,019	0,023
80 cm et 140 cm	0,116	-0,006	0,064	0,008	0,046
140 cm et 200cm	-0,008	-0,040	0,076	-0,005	0,006
enlèvement global (15 cm-200cm)	0,130	0,065	0,080	0,022	0,074

COA (mg acétate-C/L)

F-5D lieu de prélèvement	88/10/20	88/12/12	89/01/17	89/02/28	moyenne
sa	n.d.	0,042	0,128	0,000	0,057
ozonée (-25 cm)	n.d.	0,213	0,098	0,077	0,129
15 cm	n.d.	0,247	0,158	0,147	0,184
80 cm	n.d.	0,141	0,091	0,074	0,102
140 cm	n.d.	0,150	0,082	0,079	0,104
effluent (200 cm)	n.d.	0,077	0,073	0,092	0,081

Enlèvement en COA (mg acétate-C/L)

F-5D	88/10/20	88/12/12	89/01/17	89/02/28	moyenne
SA et -25 cm	n.d.	-0,171	0,030	-0,077	-0,073
-25 cm et 15 cm	n.d.	-0,034	-0,060	-0,070	-0,055
15 cm et 80 cm	n.d.	0,106	0,067	0,073	0,082
80 cm et 140 cm	n.d.	-0,009	0,009	-0,005	-0,002
140 cm et 200cm	n.d.	0,073	0,009	-0,013	0,023
enlèvement global (15 cm-200cm)	n.d.	0,170	0,085	0,055	0,103

(une valeur positive signifie un enlèvement de COA
une valeur négative signifie un relargage de COA)

Les concentrations en acétate-C de l'effluent des filtres CAB varient entre 41 et 119 µg/L; l'enlèvement en COA mesuré entre 15 cm et l'effluent est de 74 et 103 µg acétate-C/L pour les filtres 2-G et 5-D respectivement - soit 50 et 56% du COA initialement présent.

L'effet de la température sur la formation en COA n'est pas très clair en regard des résultats de l'échantillonnage d'octobre: à 15 cm de profondeur le COA est de 0,249 mg acétate-C/L, ce qui est comparable à la même couche du filtre 5-D en décembre. L'enlèvement dans le filtre est de 0,130 mg, soit 52%, ce qui se compare aux rendements moyens des eaux très froides.

Afin de vérifier si les enlèvements sont statistiquement significatifs selon la profondeur, une analyse de variance multiple est effectuée. Les résultats moyens des duplicatas sont regroupés pour chaque couche. Mentionnons que l'écart-type moyen entre les duplicatas de COA est de 31 µg acétate-C/L pour un coefficient de variation de 27%. L'imprécision se partage ainsi:

- énumération des triplicatas étalés: écart-type = 11 µg
  coefficient de variation = 18%;
- duplicata des Nmax : écart-type = 20 µg
  coefficient de variation = 9%.

On ne peut statuer sur l'homogénéité des variances de ces duplicatas puisque deux données seulement sont disponibles. Cependant, un coefficient de variation de 27%, quoiqu'élevé, est fréquent pour des

étalements sur milieu nutritif. La reproductibilité des duplicatas est donc acceptable.

Afin d'effectuer une analyse de résultats obtenus dans des conditions similaires, les données du mois d'octobre (eau chaude) sont exclues. Seuls les résultats d'hiver sont analysés.

Le test de Barlett, où $\chi^2_{0,05(4)} = 13,28 > Bcobs = 2,72$, a permis de vérifier l'hypothèse d'homogénéité des variances, tandis qu'un nombre relativement élevé d'observations moyennes (30) suggère d'accepter l'hypothèse de normalité. Ainsi, l'analyse de variance multiple permet de vérifier, entre chaque profondeur, l'hypothèse suivante:

H_o: Il n'y a pas de différence significative dans l'enlèvement du COA entre deux couches filtrantes.

Les résultats de l'analyse de variance par le test Fisher PLSD, = 0,05, sont présentés au Tableau 4.16.

TABLEAU 4.16 Analyse de variance des concentrations de COA selon les couches du milieu filtrant des filtres CAB et de l'effluent du filtre SA - Test de Fisher PLSD $\alpha = 0,05$

Comparaison	Différence de COA - moyenne (μg acétate-C/L)	Décision sur H_o
SA vs affluent	- 0,710	acceptée
SA vs 15 cm	- 0,100	refusée
affluent vs 15 cm	- 0,029	acceptée
affluent vs 80 cm	0,024	acceptée
affluent vs 140 cm	0,034	acceptée
affluent vs effluent	0,051	acceptée
15 cm vs 80 cm	0,053	acceptée
15 cm vs 140 cm	0,063	refusée
15 cm vs effluent	0,08	refusée
80 cm vs 140 cm	0,010	acceptée
80 cm vs effluent	0,027	acceptée
140 cm vs effluent	0,017	acceptée

Des différences de plus de 0,062 μg acétate-C/L entre les couches du filtre et de 0,077 μg acétate-C/L pour l'effluent du filtre SA sont nécessaires pour refuser l'hypothèse H_o. Ainsi, l'accroissement en COA entre l'eau filtrée SA et l'eau ozonée (affluent) n'est pas significatif, mais le devient entre l'eau filtrée SA et la couche à 15 cm de profondeur. L'enlèvement est significatif entre la couche 15 cm à 140 cm, et au-delà (140 cm-effluent) le filtre n'enlève pas une quantité de COA statistiquement significative.

4.3.3.2 Comparaison des COA entre les filtres CAB 2-G et CAB 5-D

Les résultats des mesures de COA effectuées l'hiver sont groupés par filtre (F 2-G, F 5-D) et comparés selon les couches filtrantes. Une analyse de variance à deux critères de classification (profondeur du filtre, type de filtre) est effectuée. L'hypothèse principale H_o est la suivante:

H_o: Il n'y a pas de différence de COA entre les filtres F 2-G et F 5-D.

La valeur de F calculée pour ce est est de 0,713, ce qui est nettement inférieur à $F\alpha,v_1,v_2 = 4,35$, où $\alpha = 0,05$, $v_1 = 1$ et $v_2 = 20$: ce qui implique qu'on ne peut refuser l'hypothèse H_o.

4.3.3.3 Obtention du Nmax

Une courbe typique de la croissance de P17 est présentée à la Figure 4.14 pour l'eau du filtre 2-G à 15 cm de profondeur (le 12 décembre 1988). Les colonies bactériennes se développent de façon logarithmique dans les trois premiers jours et se maintiennent à un niveau constant pour les jours subséquents. Le Nmax est de 3,3 x 10^5 UFC/mL obtenu à t = 5 jours puisque deux légères décroissances sont enregistrées à t = 6 et 7 jours.

La majorité (75%) des Nmax sont obtenus entre les jours 3 et 6 inclusivement. La Figure 4.15 présente les fréquences d'apparition des temps d'incubation où les Nmax sont enregistrés. Étant donné que

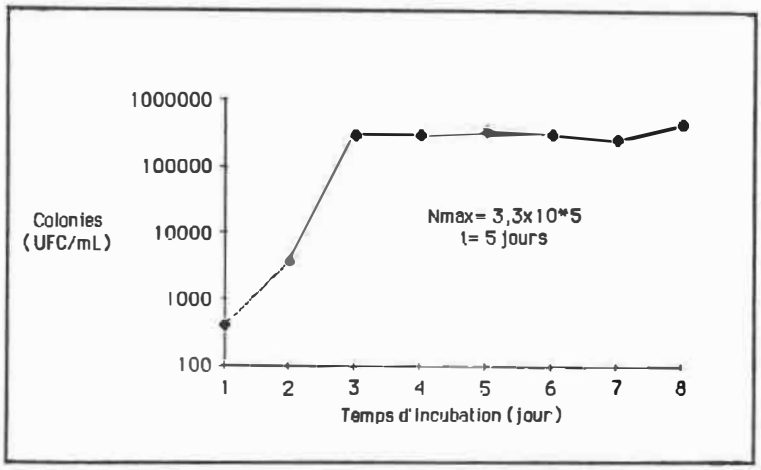


FIGURE 4.14 - Courbe de croissance de P17. Filtre CAB 2-G, 15 cm sous la surface du filtre, 88-12-12

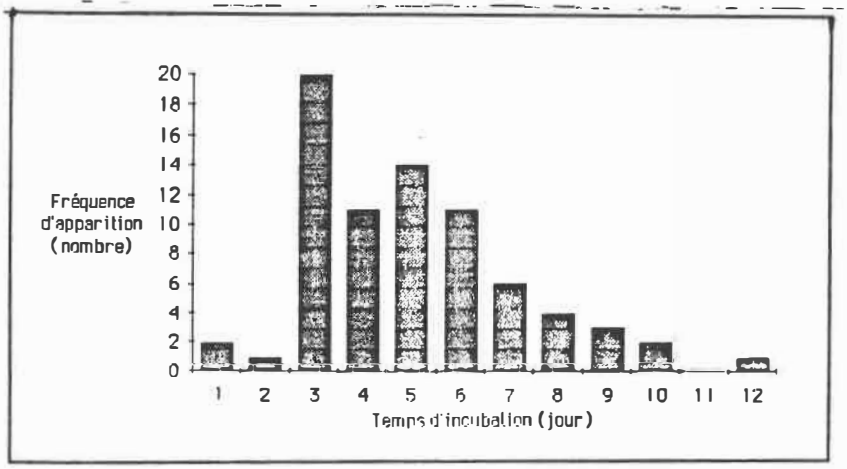


FIGURE 4.15 - Fréquence d'apparition des temps d'incubation des Nmax

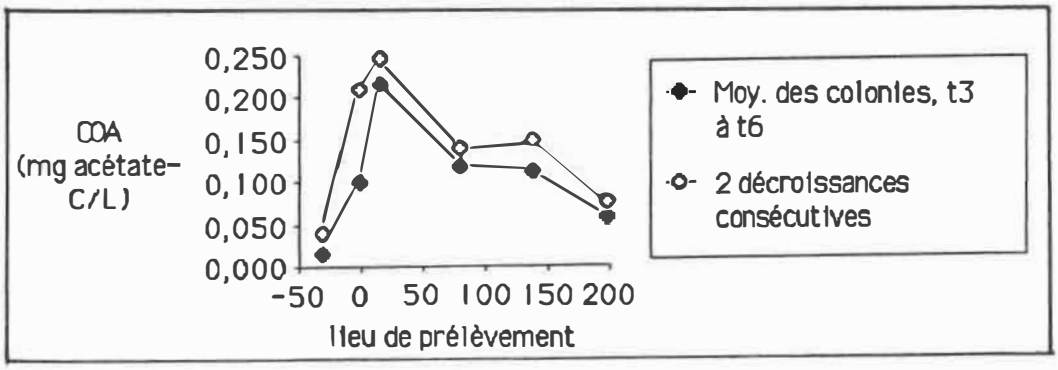


FIGURE 4.16 - Profils comparés du COA selon deux méthodes d'obtention du Nmax. Filtre CAB 5-D, 88-12-12

le nombre de colonies atteint un plateau dès la 3e journée et que la majorité des Nmax est obtenue entre T_3 et t_6, un profil de COA a été calculé à partir de la moyenne des nombres de colonies enregistrés entre t_3 et t_6 inclusivement. La Figure 4.16 présente les profils comparés du COA entre les deux modes d'obtention du Nmax (moyenne du nombre de colonies de t_3 à t_6 et Nmax suite à deux décroissances). Les deux profils sont relativement similaires. Les COA calculés par la moyenne t_3 et t_6 sont nécessairement inférieurs à ceux obtenus par les Nmax suite à 2 décroissances. La sous-évaluation mesurée pour tous les profils (F 2-G et F 5-D, 88/10/20 au 89/01/17) est, en moyenne, de 26%.

4.4 Comparaisons des COA - Méthodes Billen-Servais et van der Kooij

Les profils de COA obtenus par les méthodes Billen-Servais (différence de COD) et van der Kooij sont comparés pour chaque filtre et chaque échantillonnage. Ils sont présentés aux Figures 4.17 et 4.18. En général, les profils de COA dans les filtres sont plutôt d'allures différentes, selon les méthodes, sauf pour l'échantillonnage du filtre CAB 5-D du 88/12/12. Lorsque le COA est supérieur à 0,1 mg/L, la méthode de van der Kooij semble sous-estimer les concentrations par rapport au COA obtenu par la méthode de différence de COD. Ceci est remarqué particulièrement pour les affluents des filtres CAB. Pour les valeurs de COA inférieures à 0,1 mg/L, la maéthode van der Kooij donne des résultats légèrement supérieurs à la méthode Billen-Servais.

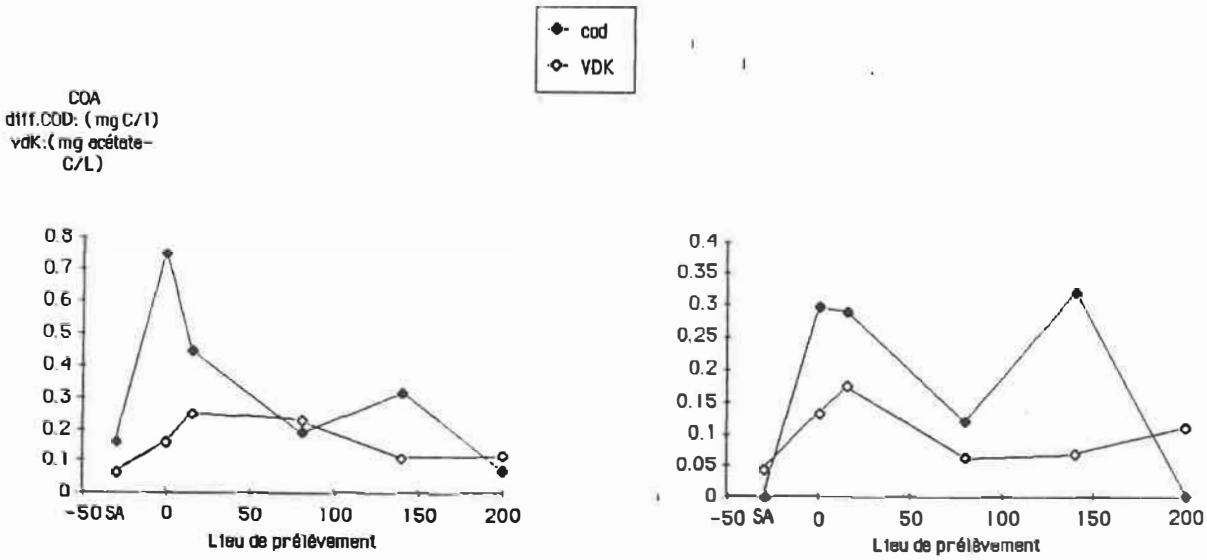


Figure 4.17 a) 88-10-20

Figure 4.17 b) 88-12-12

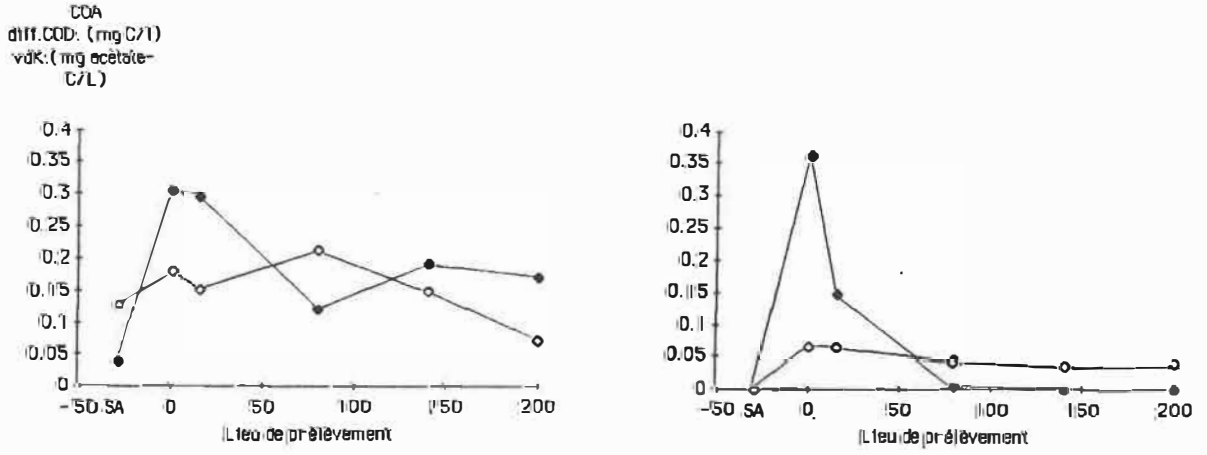


Figure 4.17 c) 89-01-17

Figure 4.17 d) 89-02-28

FIGURE 4.17 - Profils comparés du COA, filtre CAB 2-G, méthodes Billen-Servais (différence de COD) et van der Kooij

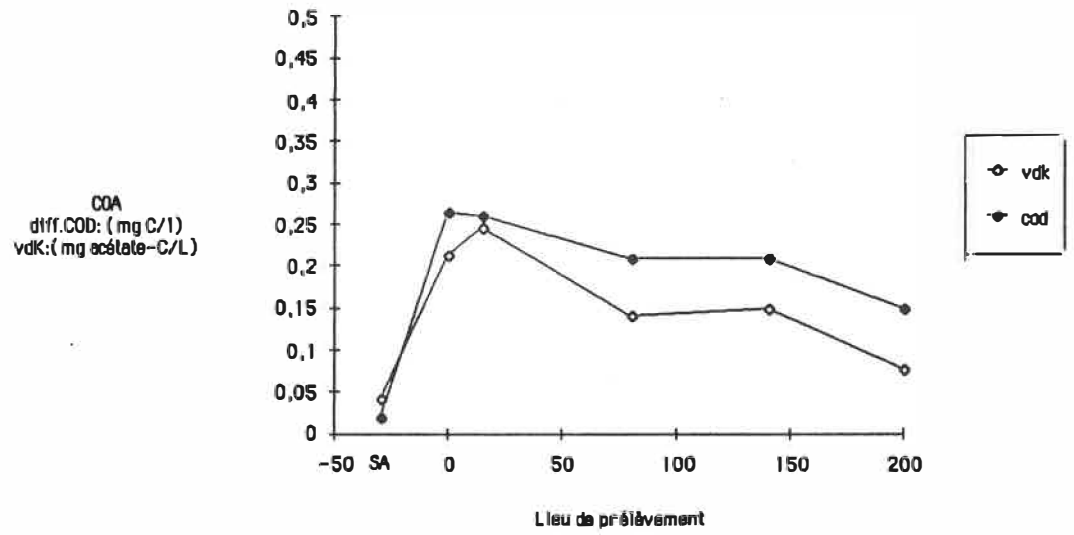


Figure 4.18 a) 88-12-12

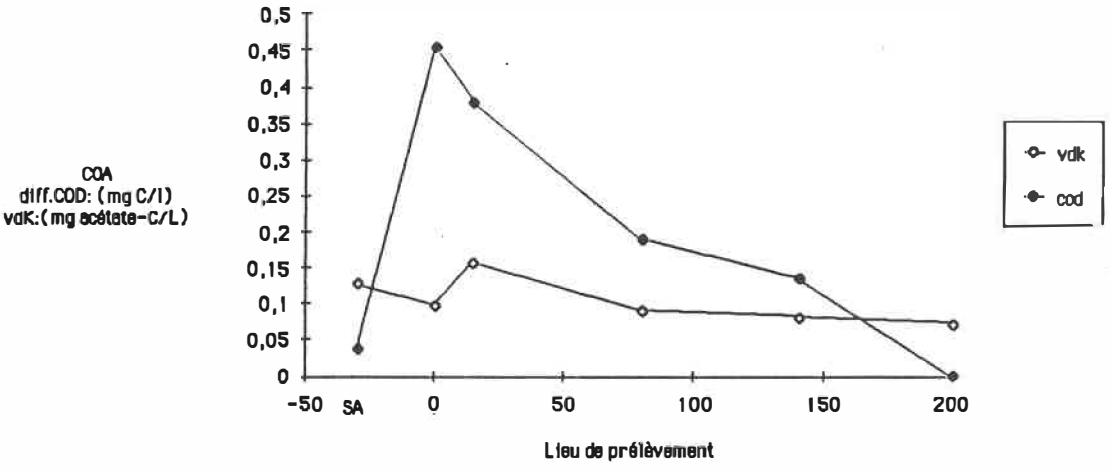


Figure 4.18 b) 89-01-17

FIGURE 4.18 - Profils comparés du COA, filtre CAB 5-D, méthodes Billen-Servais (différence de COD) et van der Kooij

4.5 COA - Méthode Joret-Lévi

Les essais réalisés durant l'été 1988 concernent la mise au point de la méthode Joret-Lévi quant au milieu fixeur à utiliser, au temps de lavage des milieux, et de l'aération à appliquer. Aucun échantillonnage des filtres CAB n'est effectué.

Essais nos 1 @ 4 - Sable Pont-Viau

Des échantillons d'eau ozonée et déminéralisée sont mis en contact avec du sable provenant d'un filtre à sable de l'usine de traitement d'eau potable Pont-Viau (Ville de Laval). Les quatre essais sont contaminés: le COD final est 1,7 à 3,9 fois plus élevé que le COD initial (Tableau 4.17). Les essais #2 et #4 ont permis plus spécifiquement de vérifier la qualité du sable et de son lavage (sans aération). Après plus de six heures de lavage à l'eau du robinet le relargage en COD n'a pu être éliminé.

Essais nos 5 et 6 - Anthracite de l'usine Ste-Rose

Étant donné les contaminations précédentes, le milieu fixeur est changé pour de l'anthracite provenant des filtres au sable et anthracite de l'usine Ste-Rose. De plus, on utilise l'eau du robinet à la place de l'eau ozonée.

Pour l'essai no 5, l'échantillon n'est pas aéré. Le COD est de 3,0 mg/L à t_o, descend à 2,7 après 42 heures d'incubation, et

TABLEAU 4.17 - RÉSULTATS DES COD MESURÉS ET DES COA CALCULÉS, MÉTHODE JORET

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Paramètres										
COD t_o (mg/L)	4,7	3,0	5,0	2,0	3,0	2,7	3,9	3,6	3,8	3,3
COD min (mg/L)	-	-	-	-	2,7	-	-	-	3,0	2,6
COD t_f (mg/L)	18,2	6,0	8,3	4,8	3,4	3,3	4,6	4,7	3,0	2,6
Durée d'incubation										
COD tf (heure)	64	24	216	24	336	144	144	114	90	336
COA[1] (mg/L)	Cont.[2]	Cont.	Cont.	Cont.	0,3	Cont.	Cont.	Cont.	0,8	0,7
COA/COD (%)	-	-	-	-	10	-	-	-	21	21

(1) $COA = COD t_o - COD_{min}$

(2) Contaminé

remonte à 3,4 mg/L après 336 heures (voir Tableau 4.18). Le COA est de 0,3 mg/L.

L'anthracite utilisé pour l'essai no 5 est lavé à l'eau du robinet et utilisé à l'essai suivant pour lequel l'aération est dispensée à un taux de 150 mL/min. Le suivi du COD en cours d'incubation montre un accroissement de 3,0 à 3,3 mg/L, ce qui indique une contamination de l'échantillon utilisé pour l'essai no 6.

Essais no 7 @ 10

Le sable des essais nos 1 @ 4 est carbonisé à 550°C pendant six heures, puis ensemencé pendant une semaine avec l'eau de l'effluent des filtres sable-anthracite (essais nos 7 et 8) et avec l'eau de l'effluent du filtre CAB no 6 (essais nos 9 et 10). L'eau ozonée est incubée pour les quatre essais.

Un débit d'air de 150 mL/min est fourni pour les essais nos 7 et 8. Les concentrations de COD ne décroissent pas, passant de 3,9 à 5,0 mg/L en 120 heures pour l'essai no 7 (avec une légère descente à 4,6 mg/L à 144 heures) et de 3,6 à 4,7 pour l'essai no 8. A l'essai no 9, une agitation magnétique du milieu fixeur a permis d'obtenir une valeur du COA de 0,8 mg/L (22% du COD initial). Pour l'essai no 10, il n'y a ni agitation, ni aération. La concentration de COD varie d'une valeur initiale de 3,3 mg/L à 2,7 mg/L après 216 heures d'incubation pour descendre ensuite à 2,6 mg/L à 336 heures. Le COA est de 0,7 mg/L, ce qui représente 21% du COD initial.

TABLEAU 4.18 ANALYSES DE COD POUR LES DIFFÉRENTS ESSAIS, MÉTHODE JORET

Essais	COD (mg/L)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (h)	30/05/88	01/06/88	02/06/88	09/06/88	21/06/88	04/07/88	13/07/88	13/07/88	15/08/88	07/09/88
0	4,7	3,0	5,0	2,0	3,0	2,7	3,9	3,6	3,8	3,3
16									3,7	3,1
24	6,2	6,0	5,3	4,8		3,0	3,9	3,6		
42					2,7	3,3			3,1	3,0
48	8,4						3,9	4,0	3,4	
64	18,2								3,4	
72						3,4			3,0	
90									3,0	
113										3,0
120			8,2				5,0	4,4		
144						3,3	4,6	4,7		2,8
192										3,2
216			8,3							2,7
288										2,8
312					3,4					2,7
336					3,4					2,6

CHAPITRE 5 - DISCUSSIONS

Les résultats concernant la mise au point des méthodes de mesure du COA et leur application pour mesurer le COA des eaux ozonées et filtrées sur CAB sont discutés dans ce chapitre.

5.1 Mise au point des méthodes

5.1.1 Méthode Billen-Servais

Le principal risque de contamination en carbone est rencontré lors de la stérilisation des échantillons d'eau par filtration sur une membrane filtrante de 0,22 µm. Les auteurs de la méthode proposent un rinçage de ces membranes en rejetant les premiers 100 à 200 mL d'eau d'échantillons filtrée. Des rinçages avec 140 mL d'eau d'effluent des filtres CAB ont donné un relargage moyen de 0,3 mg/L en COT (Tableau 4.3.) Un essai avec 200 mL n'a pas permis d'obtenir de meilleurs résultats. Deux séries de 15 rinçages avec 20 mL d'eau MilliQ ont par ailleurs permis d'éliminer toute trace de relargage. Pour plus d'assurance, un rinçage avec 20 * 20 mL fut adopté pour toutes les filtrations d'échantillons d'eau effectuées pour cette étude.

5.1.1.1 COA - Différence de COD

Après combien de journées d'incubation peut-on estimer que l'enlèvement du COA est complété? Le suivi de la baisse du COD lors des incubations du 6 juin et du 22 août 1988 (Figures 4.2 et 4.3) démontrent que l'enlèvement est rapide et complété après 40 heures

(eau brute du 6 juin), alors qu'il faut attendre de 17 à 28 jours pour les essais du mois d'août. Lorsqu'un suivi quotidien du COD est effectué, la fin de l'expérience est dictée par l'arrêt des variations de COD. Lorsqu'une seule mesure du COD est possible, un temps d'incubation de 28 jours est nécessaire. Pour les échantillonnages des mois d'octobre 1988 à février 1989, les mesures de COD_{tf} sont réalisées après plus de quatre semaines d'incubation.

En cours d'incubation il arrive qu'un relargage en COD se produise. Ainsi, pour l'eau brute du mois d'août le COD à 17 jours est de 5,14 et de 5,42 mg/L après 28 jours. Ce relargage apparent peut être dû à la lyse bactérienne remettant du carbone organique en solution. Ce phénomène n'est qu'une hypothèse et serait la cause de l'imprécision de la méthode lorsque seules deux mesures à t_o et t_f sont prises pour le calcul du COA.

Le profil de COD demeure statistiquement semblable pour les deux bouteilles d'incubation de juin et août 1988 (tableau 4.6). La reproductibilité des résultats est ainsi excellente.

5.1.1.2 COA - Épifluorescence

L'obtention d'une valeur de COA par épifluorescence nécessite plusieurs manipulations: filtration d'échantillons incubés, dénombrement des bactéries, évaluation des biovolumes moyens et intégration des courbes de biomasse. Ces diverses étapes impliquent des

imprécisions qui se réflètent sur la valeur du COA; elles sont discutées ci-après.

1) Filtration d'échantillons

La filtration d'échantillons sur membranes 0,2 µm afin de colorer les bactéries par l'acridine orange (AO) ne représente pas de problèmes majeurs. En plus de suivre la méthodologie décrite à la section 3.3.2.5.2, il est important de respecter les quelques points suivants:

- le débit de filtration doit être d'environ une goutte/s. afin d'obtenir une répartition égale des bactéries sur la membrane filtrante;

- un témoin doit être filtré à tous les jours (eau de dilution + AO + formol). Ceci permettrait de contrôler la qualité de la stérilisation des trois solutions et la qualité de l'arrière-plan. En effet, l'arrière-plan visible au microscope présente parfois des particules colorées qu'il ne faut pas compter comme des bactéries.

2) Dénombrement des bactéries

Le dénombrement des bactéries est rendu possible par la coloration à l'orange-acridine de l'ADN et de l'ARN bactérien. La qualité du comptage est directement reliée à la qualité de la fluorescence. Afin de maximiser la coloration, il est important de suivre les points suivants:

- éviter le plus possible d'exposer les lames microscopiques à la lumière du jour ou à celle de la lampe du microscope;

- si le comptage n'est pas effectué immédiatement après la filtration, les lames doivent être conservées à 4°C. La fluorescence diminuera plus lentement. En général, les lames peuvent être conservées près d'un mois;

- en plaçant une goutte d'huile à immersion en dessous et au-dessus de la membrane filtrante lors du montage des lames on élimine le problème de déshydratation qui rend impossible le comptage sur les lames.

Malgré ces recommandations, il arrive que la coloration soit très faible de sorte que le comptage sur les lames est alors très ardu.

Il arrive parfois qu'une coloration intense de l'arrière-plan soit obtenue, rendant impossible le dénombrement sur les lames. Ce phénomène a été observé par Bergstrom et al. (1986). Cette décoloration s'explique, selon ces auteurs, par un précipité formé de l'acridine orange et des substances organiques d'origine humique qui s'est produit pour des eaux fortement chargées en substances humiques (les concentrations ne sont pas mentionnées). Nous n'avons observé ce phénomène que 2 à 3 jours consécutifs, souvent en début d'incubation. Si les substances humiques étaient la cause de la précipitation elle

aurait eu lieu durant toute l'incubation. En effet, les concentrations de substances humiques sont constantes puisqu'elles sont réfractaires à la dégradation bactérienne.

Une autre explication du phénomène pourrait être la présence d'ADN et d'ARN non-hydrolisés en suspension. Pour la mesure du kd Servais et al. (1985) soutiennent que ces acides ne sont pas hydrolysés immédiatement après la lyse bactérienne. Ils n'y précisent cependant pas la durée du phénomène. Les deux à trois jours de haute coloration correspondraient-ils à une phase nécessaire à la production d'exo-enzymes capables d'hydroliser l'ADN et l'ARN? Compte tenu des ressources disponibles et de la marginalité du phénomène, cette hypothèse n'a pas été vérifiée.

D'autre part, l'arrière-plan présente souvent des particules anguleuses colorées qui peuvent difficilement être considérées comme des bactéries. Lors des dénombrements, elles sont facilement rejetées. Les particules sphériformes peuvent, elles, être associées à des coques comme le rapportent Bergstrom et al. (1986). Cependant, la présence de coques dans l'eau de rivière est plutôt rare. Ainsi, il est possible que le dénombrement des coques dans le calcul du COA soit associé à une erreur méthodologique. Heureusement les coques ne comptent que pour un faible pourcentage du nombre total des bactéries et, étant donné leur faible dimension (elles sont près de 50% moins volumineuse que les bâtonnets), l'impact des coques sur le calcul du COA demeure négligeable.

La technique utilisée pour le prélèvement des échantillons mènerait à sous-estimer la concentration des bactéries. Il a été souligné par LeChevallier et al. (1989), qu'une part non-négligeable des bactéries pourrait être fixée aux parois des bouteilles d'incubation. C'est pourquoi ils préconisent de traiter l'échantillon pendant cinq minutes aux ultrasons avant l'échantillonnage. Une comparaison de la croissance de bactéries par étalement, avant et après traitement aux ultrasons, n'a cependant pas démontré de différence statistiquement significative, rapportent les auteurs. Cette technique de prélèvement devrait cependant être introduite pour de prochains essais afin d'en vérifier la pertinence.

3) Estimation du biovolume

Le biovolume bactérien est évalué en mesurant la largeur et la longueur moyennes pour chaque type de bactérie, ceci sur chaque lame dénombrée. Quelle est la précision de ces mesures alors que la plage de dimensions bactériennes présentées au tableau 4.10 voisinent le seuil de détection du microscope (0,2 µm)? L'estimation des dimensions s'effectue grâce à un réticule placé sous l'oculaire, A un grossissement de 1000 x, sa plus petite dimension correspond à 0,8 µm. En théorie, la précision correspond à la moitié de la plus petite division, soit $\pm$ 0,4 µm. En pratique, il est possible de mesurer des particules avec une précision de 0,2 µm. Le tableau 5.1 présente les variations de volume associées à diverses dimensions fréquemment mesurées. Les volumes inférieurs et supérieurs sont présentés en pourcentage du volume.

TABLEAU 5.1 Erreur sur le calcul des biovolumes à l'aide des dimensions bactériennes observées

Largeur W (μm)	Longueur L (μm)	Volume (μm^3)	Erreur sur le calcul du volume (%)
0,4	2,4	0,285	24-238
0,4	3,2	0,385	24-235
0,8	2,4	1,07	53-166
0,8	3,2	1,474	54-163
1,2	2,4	2,262	64-145
1,2	3,2	3,167	66-143

Erreur de $\pm$ 0,2 μm sur W et L.

Plus les dimensions sont petites, plus la plage d'erreurs est grande. Il est à remarquer que le volume est beaucoup plus sensible à une variation de w que de L (varier la largeur d'un cylindre provoque un plus grand effet sur le volume que varier sa longueur). La plage d'erreurs pour w = 0,4 μm et L = 2,4 μm est de 24 à 238% (Vsup/Vinf. = 10), ce qui est énorme. Selon le tableau 4.10, les dimensions les plus fréquentes pour les bâtonnets sont de w = 0,8 μm et L = 2,4 μm, d'où une variation sur le volume de 53 à 166% (rapport Vsup/vinf de plus de 3). N'oublions pas que ces erreurs se répercutent directement sur l'évaluation du COA!

La mesure des dimensions souffrent d'une autre imprécision: l'estimation de W et L s'effectue sur une plaque où 30 à 500 bactéries sont comptabilisées (6 à 100 bactéries réparties sur 5 champs). Il est pratiquement impossible de mesurer les dimensions de chaque

bactérie. Une estimation moyenne doit être effectuée, estimation basée sur le jugement de la personne effectuant la mesure. Mentionnons de plus que ces estimations sont très ardues puisque les lectures à l'épifluorescence s'effectuent sur fond noir: le réticule n'apparaît ainsi qu'à la lueur des bactéries.

Bratbak (1985) a présenté des résultats éloquents sur les précisions associées à ces mesures. L'évaluation des erreurs a été effectuée sur des sphères en latex fluorescent de dimensions connues (0,25, 0,57 et 1,04 μm). En utilisant un réticule présentant 11 sphères de dimensions variant entre 0,2 μm et 7,6 μm de diamètre, il obtient la variation suivante: sphère de 0,57 μm: $68\% < V < 186\%$. Cette variation est similaire à celle obtenue par notre méthode. En évaluant par photographie les dimensions de cette sphère, le volume moyen mesuré correspond à 75% du volume théorique. Il élimine la plage de variation, mais sous-estime les biovolumes.

Le rapport surface/volume (S/V) en fonction du temps d'incubation présente une évolution intéressante (voir figure 4.10). Après un temps d'adaptation de 3 jours, le S/V des bactéries diminue parce que l'environnement présente le maximum de substrats permettant aux bactéries de diminuer leur surface de contact avec l'extérieur. Poindexter (1980), lors de ses études sur les milieux oligotrophes, décrit le même phénomène. A mesure que les substrats présents en solution diminuent, les bactéries doivent augmenter leur surface, ce qui est visible autour de la 10e journée. Sur les courbes de

croissance cette 10e journée correspond au maximum de la biomasse (fig. 4.10). Le rapport S/V se rétablit par la suite à la valeur initiale de l'inoculum de base. Malgré des imprécisions majeures sur l'évaluation des biovolumes, il est ainsi possible d'obtenir certaines informations qui correspondent à celles prédites par la théorie. Cependant, l'ajout d'un système de mesure par photographie permettrait une plus grande précision, tout en facilitant le travail de l'observateur. A défaut de cet appareil, un comptage par réticule comprenant des sphères de diverses dimensions, tel le réticule New Porton G12, augmenterait légèrement la précision. Il faudrait également que tout nouvel observateur effectuant une estimation de biovolume puisse calibrer ses lectures à l'aide de sphères de dimensions connues.

4) Estimation du coefficient de conversion du biovolume en biomasse

Le coefficient de conversion du biovolume bactérien en biomasse carbonée utilisé est de $1,2 \times 10^{-7}$ μg C/μm^3, tel que mesuré par incorporation à la thymidine par Furhman et Azam (1980). Cette valeur est recommandée par Servais et al. (1985), puisqu'elle correspond à la médiane des valeurs théoriques rapportées dans la littérature ($0,87$ @ $1,65 \times 10^{-7}$ μg C/μm^3). Cependant, Bratbak (1985) a récemment déterminé expérimentalement une valeur cinq fois plus élevée, soit $5,6 \times 10^{-7}$ μg C/μm^3.

Il demeure ainsi difficile de choisir un coefficient de conversion qui soit applicable à toutes les espèces bactériennes et pour toutes les phases de croissance. Lors du calcul du COA, la valeur citée par Furhman et Azam (1980) a donc été retenue. Selon les types de bactéries rencontrées dans les eaux analysées, il est possible qu'il y ait alors une erreur systématique.

5) Estimation des coefficients Y et Kd

Dernière étape dans la mesure du COA par épifluorescence, l'emploi des coefficients de croissance Y et de mortalité Kd est sujet aux mêmes discussions que l'estimation du coefficient de conversion du biovolume en biomasse.

Le coefficient de croissance utilisé pour calculer le COA est de 0,3. Cependant, cette valeur, proposée par Servais et al. (1987), correspond à une eau riche en azote. Pour des eaux faiblement azotées, Y peut descendre entre 0,07 et 0,13 (Billen et Fontigny, 1987). La mesure de Y requiert l'utilisation de l'ultrafiltration (avec des problèmes de contamination au carbone des membranes), ou l'emploi de mesures de variation très précises du COD dans la phase de croissance. Ces techniques n'étaient pas disponibles lors des essais. Ainsi, la valeur de 0,3 fut adoptée.

Le facteur Kd a été récemment mesuré par Servais et al. (1985) qui concluent qu'il est constant du début à la fin de l'incubation. Ce comportement n'a pas été vérifié par aucun autre chercheur.

En effet, l'étude de la décroissance de population bactérienne en milieu oligotrophe est très récente. Le processus de mortalité y est encore mal compris.

Une valeur moyenne de 0,01 h^{-1} pour le Kd est proposée par les mêmes auteurs. Est-il applicable autant aux eaux où se développent les bactéries curviformes (octobre 1988) qu'à celles où se développent les bâtonnets (décembre 1989)? Cette question demeure ouverte.

6) Courbes de biomasse

L'étude des courbes de biomasse obtenues en octobre et en décembre soulève d'autres interrogations. Comment expliquer l'obtention d'un plateau dans la population bactérienne après la 5e journée de croissance, et cela jusqu'à 35 jours d'incubation? Ce phénomène a été observé pour toutes les eaux du mois d'octobre (Figure 4.7). Aucune baisse nette de la biomasse n'est obtenue. Trois hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces plateaux:

- en l'absence d'organismes supérieurs (l'inoculum est préfiltré pour éliminer les protozoaires), Servais et al. (1985) proposent trois mécanismes de mortalité bactérienne: autolyse, phage lytique par virus ou par bactéries. Il se pourrait qu'aucun prédateur ne soit présent dans les eaux incubées et que le processus d'autolyse soit ralenti. Dans ce cas, un plateau constant ou une faible décrois-

sance seraient observés. Comme on peut le voir à la figure 4.9, ceci n'explique pas les remontées soudaines à t = 16 d;

- lors de la phase de décroissance, de courtes périodes de recroissance ont été observées. Ce phénomène, nommé "état cryptique" (Meyer et Deiana, 1984), s'explique par une reprise des substrats libérés par la lyse bactérienne. Pour que ce phénomène se produise sur une période relativement longue, il faut que le facteur Y soit élevé. L'état cryptique peut ainsi expliquer les variations de biomasse suite à la croissance "maximale" obtenue à la 5^{e} journée. Cependant, l'allure de l'évolution de la biomasse ne semble pas diminuer après t = 5d. Au contraire, à t = 22d, en octobre, on observe une pointe plus élevée qu'à t = 5d;

- la phase de croissance logarithmique peut être écourtée par la diminution rapide de substrat, phénomène propre au milieu oligotrophe. Les bactéries, plutôt que de se reproduire, stokeraient des polymères en vue des journées de disette à venir (Poindexter, 1980). En octobre, la croissance de biomasse se stabilise autour de 0,05 mg C/L, alors qu'en décembre une phase de croissance allant jusqu'à 0,12 mg C/L est observée pour l'eau affluent, accréditant cette hypothèse. Pour survivre, après une phase de croissance diminuée, les bactéries utilisent leur réserve de polymères. Comme la méthode de mesure à l'épifluorescence détecte les bactéries viables et nonviables (Hobbie et al., 1977), des bactéries vivant sous forme de latence seraient comptabilisées dans la biomasse.

L'état actuel des connaissances des milieux oligotrophiques - en absence d'organismes supérieurs, en culture en cuvée et par incubation de souche mixte - ne permet pas de déterminer avec précision la raison de l'absence de décroissance des populations bactériennes.

De plus, comment peut-on expliquer une remontée importante de la biomasse après 15 jours d'incubation? Toutes les eaux prélevées présentent cette remontée. Y a-t-il une contamination en carbone? Comme les procédures sont suivies avec minutie, et que les sources de contamination en carbone ont déjà été identifiées, il est très peu probable qu'une telle contamination collective ait eu lieu. L'inoculum pourrait être la cause de la remontée. Cet inoculum est prélevé à 1°C et placé en incubation à 20°C. Les bactéries viables à température cryogénique peuvent ne pas l'être à 20°C. On assisterait alors à une succession de population, ce qui expliquerait le deuxième pic. Selon Billen (1989), une telle hypothèse suppose un Kd non-constant invalidant tout calcul du COA. Pour vérifier l'effet de l'adaptation de l'inoculum à la température, des essais devront être repris où des incubations en parallèle seront effectuées (inoculum adapté à la température de la pièce et inoculum fraîchement prélevé).

7) Profil de COA dans les filtres

Selon les auteurs de la méthode, une bonne corrélation entre le COA mesuré par COD et par épifluorescence devrait être trouvée. Or, toutes les valeurs obtenues par épifluorescence surestiment de

1,4 à 4,5 et de 2,2 à 4,5 fois les mesures par différence de COD, pour octobre et décembre respectivement. L'écart est trop grand pour être affecté à l'imprécision de l'analyseur de COD (Dorhmann 80).

8) Épifluorescence: résumé de la mise au point

Les imprécisions sont légions

- le dénombrement des colonies sur plaques est très ardu;
- l'erreur sur les biovolumes varient au minimum de 53 à 166%;
- la valeur de conversion du biovolume bactérien en biomasse pourrait être quintuplée;
- les valeurs des coefficients Y et kd utilisées dans cette étude sont celles proposées par les auteurs de la méthode. Leur précision demeure inconnue sur nos échantillons;
- une décroissance nette de la population bactérienne lors de l'incubation n'est pas observée. Ce phénomène, encore inexpliqué, rend très incertaine l'intégration du calcul du COA (formule 3.2);
- le COA mesuré selon la procédure de différence du COD ne corrèle pas avec celui calculé par épifluorescence.

En raison de ces diverses erreurs, il est impossible d'utiliser ou d'interpréter les résultats de COA obtenu par épifluorescence, encore moins de suivre l'enlèvement du COA dans les diverses profondeurs du filtre CAB, ou d'effectuer d'autres analyses.

Cette méthode n'est pas encore du domaine public, et les comparaisons de résultats avec d'autres laboratoires demeurent

inexistantes. Afin d'assurer une suite au développement de la méthode, les prochains protocoles expérimentaux devraient comprendre les points suivants:

- effectuer des échanges d'eau et d'inoculum entre laboratoires pour une mesure conjointe du COA;
- effectuer des mesures sur des eaux témoins contenant une valeur connue de COA (par l'ajout de 0,5 mg/L de carbone, par exemple);
- lorsqu'un écart entre le COA mesuré par épifluorescence et par différence de COD, plus grand que la somme des imprécisions des deux procédures, est obtenu, les constantes Y et Kd devront être mesurées;
- effectuer une estimation des biovolumes en utilisant des photographies préalablement calibrées par des sphères de dimensions connues.

La mesure du COA par épifluorescence devrait permettre de calculer la concentration des molécules rapidement et lentement biodégradables telle qu'obtenue grâce à un modèle mathématique décrit partiellement par Billen et Fontigny (1987). Cette méthode pourrait alors être appliquée pour le design de filtre à charbon actif opéré en mode biologique (Bablon, 1989). A cause d'une procédure longue et laborieuse, il est évident qu'elle ne pourrait être employée comme suivi de routine.

5.1.2 Méthode van der Kooij

1) Contamination en carbone

Les contaminations en carbone sont multiples lors de la mise en oeuvre de la méthode. Il faut d'abord porter une attention particulière à la verrerie utilisée. Un test de relargage en COT a permis d'éliminer rapidement l'utilisation de fioles de 40 mL fermées à l'aide de bouchons en carton ciré. Les bouchons en Téflon, convenablement rincés, ne relarguent par de carbone.

Une autre contamination importante provient des vapeurs de l'autoclave comme ce fut le cas lorsque ce dernier fut utilisé pour stériliser l'eau du robinet et les pipettes lors de la détermination du coefficient de croissance Y pour les séries nos 1 @ 5. L'autoclave est souvent utilisé pour la stérilisation de divers produits tels les géloses nutritives. L'eau vaporisée sur les parois de l'autoclave seraient les causes des contaminations observées. Des stérilisations par pasteurisation ou par chaleur sèche (pipettes au four à 180°C) sont préférables.

2) Détermination du coefficient de croissance Y

Lors des expériences no 1 à 4, diverses concentrations en acétates furent ajoutées à l'eau du robinet, comme l'a fait van der Kooij. L'eau du robinet de la ville de Laval peut être comparée à l'eau de l'effluent du filtre CAB pour laquelle un COA de plus de

100 µg/L est souvent mesuré, soit une concentration dix fois plus élevée que celle du réseau de la ville d'Amsterdam, où van der Kooij effectue ses essais. Le bruit de fond causé par l'eau du robinet lavalloise lors de la détermination du Y (séries 1 @ 4) a ainsi exigé l'utilisation subséquente d'une eau ultra pure, soit l'eau MilliQ.

Les valeurs du Y mesuré lors des séries 6 et 7 (eau MilliQ + NP) ont varié de 3,6 et 3,4 x 10^6 UFC/µg acécate-C pour une moyenne de 3,5 x 10^6. Ces valeurs se comparent à celles publiées dans la littérature récente, soit:

Y = 4,1 x 10^6 UFC/µg acétate-C (van der Kooij, 1982a)
Y = 3,24 ± 0,41 x 10^6 IFC/µg acétate-C (Kaplan et Bott, 1988)
Y = 4,1 x 10^6 UFC/µg acétate-C
5,2 x 10^6 UFC/µg acétate-C (Reasoner et coll., 1988)
6,3 x 10^6 UFC/µg acétate-C.

La valeur moyenne de Y obtenue lors des séries nos 6 et 7 est un peu inférieure à celle publiée par van der Kooij. Cette légère inflexion de la pente peut s'expliquer par l'utilisation de concentration en acétate allant jusqu'à 1000 µg/L, alors que van der Kooij se limite à 50 µgL. La différence est cependant minime et laisse supposer la linéarité des résultats jusqu'à 1000 µg/L. Cependant, les écarts entre les divers Nmax à 1000 µg/L sont plus grands qu'à 500 µg/L (figure 4.12). Le R^2 de 0,9 est toutefois acceptable.

Tous les résultats de COA obtenus par la méthode van der Kooij sur des eaux des filtres CAB se situent sous les 250 µg acétate-C/L

(section 4.3.3). La concentration maximale en acétate pour la détermination du Y devrait donc être de 250 µg/L, reflétant ainsi les caractéristiques des eaux étudiées.

3) Écarts entre les modes opératoires et ceux de la méthode originale

Température d'incubation

La température d'incubation des échantillons d'eau, tel que proposée par van der Kooij, est de 15°C. Celle-ci est fixée afin de refléter le mieux possible la température des eaux à analyser et afin de permettre un développement lent de la biomasse bactérienne en vue de l'obtention de valeurs précises des Nmax.

La température d'incubation utilisée au cours de cette étude est de 20°C. Une augmentation du métabolisme de P17 est à prévoir, et il est possible que les Nmax soient atteints trop rapidement pour être décelés. Nos expériences montrent que ces craintes sont injustifiées: les Nmax sont obtenus entre 3 à 6 jours. Ces périodes sont similaires à celles publiées dans la littérature (van der Kooij (1988), Kaplan et Bott (1988), Haudidier et coll. (1988)). De plus, la température d'incubation à 20°C se situe dans les plages de température de l'eau de la rivière des Mille-Iles (0,5 @ 28°C). Finalement, une incubation à 20°C est plus facile à réaliser dans les laboratoires puisque ceuxci sont équipés d'incubateurs fonctionnant à 20°C et non à 15°C.

Nmax

Une courbe de croissance théorique devrait permettre d'identifier clairement le moment où la pointe maximale de la concentration de biomasse se produit. Les résultats obtenus infirment cette hypothèse puisqu'un plateau plus ou moins stable de la concentration de biomasse est enregistré après trois jours (Figure 4.14) - plateau similaire à celui obtenu lors de la conservation des souches à basse température (4-5°C). Le choix de la valeur du Nmax est fait après l'observation de deux décroissances consécutives, même si une remontée est constatée par la suite. Aucune précision n'est apportée par van der Kooij sur cet aspect de la méthode, et aucune méthode standard n'a été proposée par les différents utilisateurs de la méthode. Kaplan et Bott (1988) ont pour leur part proposé l'utilisation de la moyenne des Nmax enregistrés entre t_6 et t_9.

Dans notre étude l'utilisation d'une moyenne des Nmax entre t_3 et t_6 sous-évalue le COA de près de 26% (figure 4.16). Il est ainsi important d'adopter une procédure identique, au sein d'un même laboratoire et éventuellement dans tous les laboratoire, afin de permettre la comparaison des résultats.

Verrerie

Des fioles de 40 mL au lieu de 1000 mL sont utilisées pour l'incubation, tel que proposé par Kaplan et Bott (1988). Ces auteurs ont remarqué des comptes de Nmax plus élevés pour le petit format, dû

à l'effet relativement plus important de l'adsorption des bactéries sur les parois. Comme le Y et le COA sont déterminés dans des fioles similaires, ces augmentations des Nmax demeurent relatives et n'affectent par les résultats.

5.1.3 Méthode Joret-Lévi

Aération

Des contaminations en carbone sont observés lors de tous les essais utilisant l'aération laquelle est assurée par un compresseur lubrifié à l'huile. Il est ainsi évident que des traces de vapeur d'huile ont réussi à traverser les filtres. L'air devrait donc être fourni par un compresseur non lubrifié à l'huile et être filtrée sur colonne à charbon actif pour éliminer toute trace de composés volatiles organiques. L'air devrait également traverser une trappe à eau afin d'être saturé en eau et diminuer au minimum l'évaporation de l'échantillon.

L'agitation du milieu fixeur est une alternative à l'aération permettant l'accélération du processus de biodégradation: un COA de 0,8 mg/L pour l'eau ozonée est obtenu en 72 heures (essai no 9) alors qu'il faut attendre près de 336 heures lorsque l'échantillon n'est pas agité. Le COA forme 21% du COD, ce qui est semblable aux résultats obtenus par la méthode de différence de COD (Billen-Servais). Ces résultats demeurent très fragmentaires et il serait nécessaire de procéder à de nouveaux tests pour définir une méthode sûre.

Traitement du milieu fixeur

Des lavages répétés à l'eau du robinet et à l'eau déminéralisée n'ont pas permis d'éliminer le relargage du carbone par le sable des

essais nos 1 @ 4. Ce sable provenait d'un filtre à sable de l'usine PontViau, en opération depuis des dizaines d'années. L'historique inconnu de ce milieu fixeur expliquerait le relargage observé.

Afin de standardiser l'inoculum et d'adapter sa flore aux conditions locales, un traitement spécial fut donné au sable des essais initiaux: son contenu en carbone a été vaporisé à 550°C et une réinoculation fut effectuée en y faisant filtrer pendant une semaine une eau provenant de l'effluent des filtres CAB. En absence d'aération, ce sable n'a pas relargué de carbone (essais nos 9 et 10).

Tout milieu fixeur stable peut être utilisé. L'anthracite a permis de déterminer un COA de 0,3 mg/L pour l'eau du robinet (essai no 5). Une standardisation de ce milieu fixeur, à 550°C, ne peut cependant pas être appliquée puisqu'une température aussi élevée détruit le milieu fixeur!

Pour l'application de cette méthode il importe donc de choisir un milieu fixeur facile à nettoyer et une méthode d'aération facile à contrôler. Le manque de ressources disponibles au laboratoire a donc limité le développement pour l'étude du COA sur les filtres CAB. Néanmoins, cette méthode a donné quelques résultats identiques à la méthode de différence de COD de Billen-Servais. Elle n'exige pas de pré-traitement de l'échantillon d'eau et ne nécessite aucun équipement coûteux (aération exclue). Elle permet en outre l'enlèvement du COA par des bactéries fixées.

5.2 Profils de COA, méthodes van der Kooij et Billen-Servais (différence de COD)

5.2.1 Effets de l'ozonation

Des mesures de COA effectuées sur des eaux prélevées avant et après ozonation permettent de montrer l'effet de ce procédé sur le COA. Cet effet varie en fonction des méthodes de mesure utilisées.

En utilisant la méthode de différence du COD (Billen-Servais), la transformation du carbone réfractaire en COA est de 0,6 mg/L en été et de 0,3 mg/L, en moyenne, en hiver. Le COA de l'eau représente entre 6 et 23% du COD. On constate également que la quantité de COD demeure la même. Une concentration résiduelle d'ozone de 0,4 mg/L après 10 minutes de contract dans l'eau tiède et froide oxyde partiellement certaines molécules carbonées qui sont subséquemment attaquées par des exoenzymes bactériennes au niveau des filtres au charbon actif. Ces résultats correspondent à ceux publiés par différents chercheurs (Bablon et coll., 1989, Hascoet et coll., 1986).

En utilisant la méthode de van der Kooij, l'augmentation en COA par l'ozonation est en moyenne de 0,075 mg/L (six séries sur sept). Le contenu en COA y est d'environ 0,132 mg/L, soit 4% seulement du COD total. L'augmentation en COA, quoique sensible, n'est pas statistiquement significative et apparaît, sur les courbes de profil comparées (fig. 4.17 et 4.18), nettement inférieure à celle obtenue par la méthode de différence de COD.

L'utilisation de P17 comme seule souche d'incubation explique en partie cette sous-estimation. Selon les travaux de van der Kooij (1982), la souche P17 serait incapable d'assimiler plusieurs types d'acides carboxyliques, dont l'acide oxalique qui est un sous-produit important de l'ozonation. Selon les résultats obtenus, l'effet de l'ozonation se fait également sentir jusqu'à 15 cm sous la surface du filtre CAB, puisqu'une augmentation en COA, bien que faible, est observée entre l'affluent et l'eau à cette profondeur. Cette augmentation n'est pas statistiquement significative mais contredit toutefois les résultats obtenus selon la méthode de différence de COD. Il est alors possible que les sous-produits d'ozonation présents dans l'affluent soient retransformés dans les premiers centimètres du charbon en de nouveaux composés plus facilement assimilables pour P17. Lors de travaux subséquents (1984), l'auteur a proposé l'utilisation d'un spirillum, souche NOX, qui utilise plus spécifiquement les sous-produits de l'ozonation.

L'incubation conjointe des souches P17 et NOX n'a pas été effectuée lors de cette étude. Des essais supplémentaires combinant ces deux souches devraient être entrepris pour une meilleure compréhension du phénomène d'ozonation sur le COA. De plus, la comparaison des résultats obtenus avec ces deux souches - et éventuellement avec trois ou plus - permettraient, toujours selon van der Kooij, une caractérisation du COA selon les composés (acétate, oxalate, amidon, etc.). L'utilisation de souches pures ne permettra cependant qu'une représentation partielle du COA total.

5.2.2 Effet de la filtration sur charbon actif biologique

Des différences importantes de l'effet de la filtration sur CAB sont également observées selon la méthode utilisée.

Enlèvement global

Selon la méthode de différence de COD, la filtration sur CAB permet de rabattre le COA à son niveau initial avant ozonation, soit une valeur inférieure à 0,1 mg/L. L'enlèvement moyen en molécules carbonées est de 0,98 mg/L en été, dont 0,73 mg/L de COA. Il n'est que de 0,98 mg/L en hiver dont 0,24 mg/L de COA (Tableau 4.7). Les filtres seraient-ils moins efficaces en hiver? Malgré une température de l'eau en hiver voisinant le point de congélation, l'enlèvement de molécules organiques, tant réfractaires qu'assimilables, permet d'obtenir un effluent des filtres CAB ayant un COD égal à 2,5 mg/L, ce qui est identique à l'effluent en eau chaude. Ceci permet de constater qu'une matrice organique de base semble être présente dans la rivière des Mille-Iles tout au long de l'année. Lors de la saison chaude, l'activité des algues, des bactéries et de la faune en général, augmente le contenu en molécules organiques. Les filtres au CAB couplés à une ozonation initiale servent de tampon à ces fluctuations saisonnières. Ainsi, la baisse d'enlèvement en COA en saison froide ne proviendrait pas d'une baisse d'efficacité mais en une réduction du contenu de molécules assimilable.

En utilisant la méthode van der Kooij, cette observation quant à la température ne peut être détectée. L'utilisation de la souche P17 sousestime l'apport de l'ozonation et masque les effets dûs à la température. D'autres parts, les filtres CAB ne semblent pas ramener le COA de l'effluent à la valeur initiale avant ozonation. Près de 30 µg séparent ces deux étapes (Tableau 4.15). L'efficacité des filtres CAB serait-elle moins bonne que celle prévue par la méthode de différence de COD?

Pour répondre à cette question, il est important de souligner que la souche P17 a été originalement prélevée dans un réseau de distribution, et non dans un procédé de traitement de l'eau potable. Ainsi, il est probable que cette souche sous-évalue le contenu en carbone de l'effluent des filtres SA et qu'elle réagisse mieux aux substrats de l'effluent des filtres CAB, plus comparable à l'eau d'un réseau de distribution. Le résultat global pourrait ainsi suggérer une perte d'efficacité des filtres CAB alors que cette perte serait plutôt attribuable à la souche P17. Cependant, la différence de 30 µg acétate-C/L voisine la précision de la méthode. En effet, les écarts-types obtenus entre les duplicatas étaient justement de cet ordre de grandeur, soit 30 µg acétate-C/L. Selon l'analyse de variance, il est nécessaire d'obtenir une variation supérieure à plus de 77 µg acétate C/L lorsque les résultats de l'eau du filtre SA sont pris en considération. Ainsi, l'écart entre l'effluent des filtres SA et l'effluent des filtres CAB ne pourrait être dû qu'à des fluctuations normales de la qualité des échantillons.

Enlèvement entre les couches

Toujours selon la méthode van der Kooij, un enlèvement significatif du COA est observé entre les couches situées à des profondeurs variant entre 15-140 cm. La précision de l'enlèvement selon l'analyse de variance doit être d'au moins 0,062 mg/L. Cette valeur demeure élevée et est attribuable au nombre peu élevé (6) d'échantillons par couche. Un nombre plus élevé de résultats moyens permettrait une meilleure précision de l'analyse statistique. Les coûts en temps de manipulation et la durée d'incubation ont donc limité le nombre d'échantillonnage à 1 par mois.

Selon la méthode de différence de COD, il y a enlèvement significatif dans les filtres, en hiver, dans la partie supérieure du milieu filtrant (0-80 cm). Un léger relargage, non-significatif, est ensuite obtenu entre 80 et 140 cm de profondeur, suivi d'un enlèvement dans la couche finale lui aussi non-significatif. Cette méthode décrit-elle fidèlement la caractérisation des enlèvements dans le filtre?

La différence significative d'enlèvement entre deux couches est de 0,1 mg/L, selon l'analyse de variance. (Les écarts-types moyens des mesures de COD sont de 0,05 mg/L, ce qui constitue probablement une limite de précision donnée par le Dorhman 80 lorsqu'un même opérateur effectue toutes les mesures - comme ce fut le cas pour cette étude. Le COA étant obtenu par différence du COD, il est alors juste

d'évaluer sa précision à 0,10 mg/L). En hiver, les concentrations en COA, en amont des filtres CAB, sont d'environ 0,3 mg/L. Avec une précision de près de 30% de cette valeur, il devient difficile de caractériser avec justesse l'enlèvement du COA à travers les diverses couches du filtre. Selon l'analyse de variance, il est possible d'affirmer que l'enlèvement en COA nécessite au moins 80 cm de charbon - soit à peu près 11 minutes de temps de contact en fût vide - et que la caractéristique de l'enlèvement dans la deuxième partie du filtre demeure à définir.

Effet du lavage des filtres

Pour les trois échantillonnages d'hiver effectués après moins de 40 heures de fonctionnement, l'abattement en COA ne fut que de 15, 44 et 45%, selon la méthode de différence de COD. Pour les échantillonnages réalisés après près de 168 heures de filtration, les abattements en COA sont de 100%. Comment expliquer cette apparente baisse d'efficacité après lavage?

Il est probable que des bactéries soient exportées vers les goulottes de lavage en même temps que les impuretés. Après les lavages, la biomasse prendrait un certain temps à se reformer, ce qui expliquerait les baisses en efficacité. De plus, en effectuant un brassage du charbon, la stratification bactérienne de certaines bactéries serait modifiée, diminuant leurs activités. Quant au filtre CAB 2-G au mois d'octobre, il a été également été échantillonné après

moins de 40 heures, et l'enlèvement en COA fut complet. Il est cependant possible que la biomasse se recrée plus vite à température chaude, d'où sa performance.

L'élimination des impuretés lors du lavage libère-t-elle des sites propres à l'enlèvement de carbone organique réfractaire? Entre les deux échantillonnages du mois de décembre, l'abattement en COD est à peu près identique pour les deux filtres (0,60 mg/L). Les filtres ont ainsi éliminé une part plus importante de carbone réfractaire (0,50 mg/L versus 0,35 mg/L) lorsque récemment lavés.

A la lumière de ces résultats préliminaires, il semble important de pousser plus loin les études sur l'effet des lavages. Quelles sont les périodes optimales de fonctionnement des filtres CAB? En ce moment, les temps de fonctionnement des filtres à l'usine de Ste-Rose sont fixés de façon plus ou moins arbitraire: selon les pertes de charge observées et la nécessité de limiter la croissance d'algues à la surface (en été). Ainsi, en été les filtres sont lavés à toutes les 48 heures, tandis qu'en hiver ces périodes voisinent les 168 heures. Une connaissance sur l'effet des lavages permettrait de déterminer un fonctionnement optimal quant aux abattements en COA et en COR.

Différence entre le filtre 2-G et le filtre 5-D

Les analyses de variance pour les deux méthodes de mesures du COA n'ont pu permettre de mettre en évidence une différence d'enlèvement du COA entre les deux filtres en hiver malgré le fait que le charbon du filtre 5-D soit beaucoup plus jeune. Les faibles charges hivernales expliquent peutêtre cette similitude. Une étude comparée sur les charges estivales devrait être entreprise pour vérifier l'effet de chaque filtre.

CHAPITRE 6 - CONCLUSION

Les principales conclusions quant à la mise au point des méthodes de mesure du carbone organique assimilable et à l'utilisation de deux d'entre elles pour suivre les effets de l'ozonation et de la filtration sur charbon actif biologique dans le traitement de l'eau potable sont présentées.

6.1 Mise au point des méthode

1) Méthode van der Kooij

- Le coefficient de croissance Y de la souche P17 est de 3,5 x 10^6 UFC/μg acétate, tel que mesuré pour des concentrations en acétate-C variant de 0 à 1,0 mg/L dans une eau physiologique à faible concentration en carbone (MilliQ + N,P). Ce résultat est similaire à celui obtenu par van der Kooij. La détermination du Y permet en outre d'identifier et d'éliminer les nombreuses contaminations en carbone inhérentes à la méthode.

- L'incubation des échantillons d'eau peut s'effectuer à 20°C dans des fioles de 40 mL. La détermination des nombres maximaux de colonies (Nmax) s'obtient après que deux décroissances consécutives de la biomasse soient enregistrées, ce qui est constaté après 3 à 6 jours d'incubation.

- La méthode ne requiert pas d'équipement spécialisé mais nécessite d'importants efforts de manipulation ce qui en limite son utilisation comme procédure de routine.

- La précision des mesures de COA est de 30 μg acétate-C/L.

2) Méthode Billen-Servais

Deux procédures analytiques sont proposées par les auteurs de la méthode pour l'obtention du COA. Seule la procédure par différence de COD permet une mesure adéquate du COA.

Épifluorescence

- Cette mesure du COA implique l'observation d'une décroissance de biomasse lors de l'incubation. Celle-ci n'est pas constatée pour la plupart des échantillons d'eau, ou bien une décroissance suivie d'une remontée importante est obtenue. Les plages d'intégration pour le calcul du COA demeurent ainsi très imprécises.

- Des imprécisions importantes sont également relevées lors du dénombrement, et plus particulièrement dans l'évaluation des biovolumes bactériens. Des ressources techniques supplémentaires pourraient cependant atténuer ces difficultés.

- Le calcul du COA nécessite l'évaluation des constantes Kd, Y, et celle du coefficient de conversion du biovolume en biomasse carbonée. Leur évaluation exige des techniques très spécialisées non disponibles lors de cette étude. La validité d'utilisation des valeurs proposées par les auteurs cités ne peut être vérifiée.

Le suivi par épifluorescence est long, complexe et fastidieux, ne peut donc pas être appliqué comme procédure de routine. De plus, étant donné les nombreuses imprécisions, les résultats de COA ne peuvent être interprétés adéquatement. L'application éventuelle à des outils de modélisation reste à démontrer.

Différence de COD

Cette procédure est facile à mettre en oeuvre. Elle donne des informations quant au carbone organique assimilable et réfractaire. Les résultats s'obtiennent après plus de 30 jours d'incubation, mais la procédure requiert très peu de manipulation. Avec une précision de 0,1 mg/L sur le COA, elle peut être utilisée de façon routinière aux usines de traitement d'eau potable.

3) Méthode Joret-Lévi

Des contaminations importantes en carbone dues au milieu fixeur et à l'aération ont empêché la mise au point de cette méthode, quoique certains résultats fragmentaires permettent d'envisa- ger leur contrôle. Cette méthode demeure attirante puisqu'elle présente des possibilités de mesurer l'enlèvement du COA par bactéries fixées et d'obtenir des résultats plus rapidement que par la méthode Billen-Servais.

6.2 Ozonation et filtration sur charbon actif biologique

La méthode Billen-Servais (procédure par différence de COD) permet de mesurer la formation et l'élimination du COA lors de l'ozonation et de la filtration sur charbon actif biologique et permet de vérifier l'effet de la température de l'eau. La méthode van der Kooij (incubation de la souche P17) sous-estime les valeurs de COA des eaux ayant subi ces traitements et ne permet pas de comprendre l'effet de la température sur le COA. Plus précisément, l'application de ces méthodes permet de tirer les conclusions suivantes:

1) l'ozonation transforme 6 à 25% du carbone réfractaire en COA sans modifier le contenu total en COD. Cette oxydation incomplète est plus importante en saison chaude qu'en hiver;

2) la filtration du charbon actif biologique permet d'éliminer le COA formé à l'étape d'ozonation, en plus d'enlever une partie du carbone réfractaire, ceci aussi bien en saison chaude qu'en hiver. Un temps de contact de plus de 11 minutes est requis;

3) les lavages des filtres diminuent l'efficacité d'enlèvement du COA pour une période de 40 heures après leur remise en fonctionnement, mais cette diminution est compensée par un meilleur enlèvement du carbone réfractaire. Ainsi, l'enlèvement global en COD n'est pas affecté;

4) aucune différence d'enlèvement du COA, en hiver, n'a pu être détecté entre deux filtres opérant depuis plus de 450 et 1340 jours respectivement.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Ahmed, M.D. et C.R. Kinney (1950). Ozonation of Humic Acids Prepared from Oxidized Bituminous Coal. Journ. Amer. Chem. Soc. 72:559.

Amy, G.L., Collins, M.R. (1987). Comparing Gel Permeation Chromatography and Ultrafiltration for the Molecular Weight Characterization of Aquatic Organic Matter. AWWA journal. 79:43-49.

Anonyme (1984). Dohrman DC-80. Total Organic Carbon Systems Manuel, Xertex, pp. 3.1-3.15.

APHA, AWWA, WPCF (1985). Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater, 16^{e} édition, Washington, D.C.

Bablon, G., Ventresque, C., Damez, F. (1986). Utilisation combinée de l'ozone et du charbon actif biologique dans une grande unité de traitement. Wat. Supply, Vol. 4, Amsterdam, pp.35-45.

Bablon, G. (1988). Communication personnelle, Laval.

Bablon, G., Ventresque, C., Dazois, G. et A. Delcominette (1989). Recent Developments in the Use of Ozone and Biological Activated Carbon Reactors. Presented at the 5th Mondial Conference on Water Treatment, Nagoya, Japon.

Bablon, G., Laval (1989). Communication personnelle.

Bergstrom, I., Heinanen, A., Salonen, K. (1986). Comparison of Acridine Orange, Acriflavine and Bisbenzimide Stains for Enumeration of Bacteria in Clear and Humic Water. App. and Envir. Microb., pp. 664-667.

Billen et Fontigny (1987). Dynamics of a Phacocystis-Dominated Spring Bloom in Belgian Coastal Waters - II. Bacterioplankton Dynamics. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 37:249-257.

Billen (1989). Communication personnelle.

Bratbak, G. (1985). Bacterial Viovolume and Biomass Estimations. App. and Envir. Microb., pp. 1488-1493.

Cotruvo, J.A. et Wu, C. (1978). Controlling Organics: Why now? Journal de l'AWWA, Vol. 70, pp.590-594.

Feldman, D.S. et Associés (1986). Statview 512 +, version 1.2. Par Brainpower, Californie, 180 p.)

Fiessinger, F., Rook, J.J. et Duguet, J.P. (1985). Alternative Methods for Chlorination. The Science of Total Environment, 47:299-315.

Fuhrman, J.A., Azam, F. (1980). Bacterioplankton Secondary Prpductions Estimates for Coastal Waters of British Columbia, Antartica and California. Appl. Environ. Microbiol. 39, 1085-1095.

Gerber, N.N. et LeChevallier, H.A. (1965). Geosmin, an Earthy-Smelling Substance Isolated from Actinomycetes. Appl. Microbiol. 13:935.

Glaze, W.H., Lin C.-C., Crittenden, J.C., Cotton, R. (1986). Adsorption and Microbiological Mechanisms for Removal of Natural Organics in Granular Activated Carbon Columns. Ozone Science and Engineering, Vol. 8, p.p.299-319.

Glaze, W.H. (1988). Analytical Techniques for Measuring Ozone By-products Special Topic no 2. Conférences techniques de l'AWWA/WQTC, St-Louis.

Hascoet, M.C., Servais, P., Billen, G. (1986). Use of Biological Analytical Methods to Optimize Ozonation and GAC Filtration in Surface Water Treatment Proceedings. AWWA annual confererence, Denver, pp.205-222.

Haudidier, K., Paquin, J.L., Français, T., Hartemann P., Grapin, G., Colin, F., Jourdain, M.J., Block, J.., Cheron, J., Pascal, O., Levy, Y. et Miazga, J. (1988). Biofilm growth in a Drinking Water Network: A Preliminary Industrial Pilot-Plant Experiment. Wat. Sci. Tech. No 11/12. pp. 109-115.

Hines, W.W., Montgomery, D.C. (1980). Probability and Statistics in Engieering and Management Science, second edition. John Wiley & Sons, Toronto. 634 p.

Joret, J.C., Levi, Y. (1986). Méthode rapide d'évaluation du carbone éliminable des eaux par voie biologique. La tribune du CEBEDEAU, N°510,39, Liège, Belgique, p.p.3-9.

Joret, J.C., Lévi, Y., Dupin, T., Gibert, . (1988). Rapid Method for Estimating Bioeliminable Organic Carbon in Water. AWWA annual conference, Orlando (Fla), Etats-Unis.

Kaplan, L.A. et Bott T.L. (1988). Measurement of Assimilable Organic Carbon in Water Distribution Systems by a Simplified Bioassay Technique. Présenté at the annuel AWWA WQTC Conference, St-Louis, Novembre.

Kemmy, F.A., Fry, J.C., Breach, R.A. (1988). Development and Operational Implementation of a Modified and Simplified Method for Determination of Assimilable Organic Carbon (AOC) in Drinking Water. Biennal, présenté au congrès de IAWPRC, Brighton, Angleterre.

Kuo, P.K.P., Chian, E.S.K. et B.J. Chang (1977). Identification of End Products Resulting from Ozonation and Chlorination of Organic Compounds Commonly Found in Water. Envir. Science and Technol., 11:1177.

LeChevallier, M.W. et McFeters, G.A. (1985). Interactions Between Heterotrophic Plate Count Bacteria and Coliform Organisms. Applied and Environmental Microbiology, 49:1338-1341.

LeChevallier, M.W. (1988). Assessment of Conditions that Promote Bacterial Growth in Drinking Water. Conférences techniques de l'AWWA/WQTC, St-Louis, Novembre.

LeChevallier, M.W., Lee, R.G., Moser, R.H. (1989). Bacterial Nutrients in Drinking Water. American Water Works Service Company Inc., Illinois. 54 p.

Lee, S.H., O'Connor, J.T. et Banergi, S.K. (1980). Biologically Medicated Corrosion and its Effects on Water Quality in Distribution Systems. Journ. AWWA, 72:636.

Leeflang, K.W.H. (1963). Microbiologic Degradation of Rubber. Journ. AWWA, 55:1523.

Letendre, Sylvie (1987). Etude du comportement des filtres à charbon actif biologique d'une station de production d'eau potable en climat froid. Mémoire de maîtrise. Ecole Polytechnique de Montréal. 149 p.

Lisle, J. (1988). The Use of Heterotrophic Plate Count and Related Data to Evaluate Operational Efficiency in a Distribution System. Conférences techniques de l'AWWA/WQTC. St-Louis, novembre.

McFeters et Camper (1988)

Meier, J.R., Knohl, R.B., Coleman, W.E., Ringhand, H.P., Munch, J.W., Kaybr, W.H., Streicher, R.P., Kopfler, F.C. (1987). Studies on the Potent Bacterial Mutagen, 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-Furanone: Aqueous Stability, XAD Recovery and Analytical Détermination in drinking water and in Chlorinated Humic Acid Solutions. Mutation Research, 189, p.p. 363-373.

Meyer, A., Deiana, J. (1984). Cours de microbiologie générale, DOIN éditeur. pp. 115-116.

Piotte, Dominique (1988). Étude de l'adsorption rapide d'un filtre au charbon actif biologique. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal, 137 p.

Poindexter, J.S. (1980). Fast and Famine Existance. The Public Health Research Institute of New-York, Inc., New-York, New-York 10016. Chap 2, p.p. 63-89.

Reasoner, D.J., Rice, E.W. Blannon, J., Mason, P. (1988). Organic Carbon Test. Progress Report E.P.A., 1er avril 1988 - 30 juin 1988. pp.30-32.

Sayre, I.M. (1988). International Standards for Drinking Water. AWWA Journal, Janvier, pp.53-60.

Schellart, T.A. (1986). Disinfection and Bacterial Regrowth, Some Experiences of the Amsterdam Water Works Before and After Stopping Safety Chlorination. Wat. Supply (4):217-22.

Sherrer, Bruno (1984). Biostatistiques. Gaétan Morin, éditeur, Chicoutimi, Québec. 850 p.

Servais, P., Billen, G., Rego Vives, Jose (1985). Rate of Bacterial Mortality in Aquatic Environments. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 49, no 6, p.p. 1448-1454.

Servais, P. Billen, Gilles, Hascoët, M.C. (1987). Determination of the Biodegradable Fraction of Dissolved Organic Matter in Waters. Wat. Res. Vol. 21, #4, p.p. 445-450.

Skadsen, J. (1988). Bacterial Regrowth in a distribution System. Conférences techniques de l'AWWA/WQTC, St-Louis, novembre.

Smalls, L.C. et Greaves, G.F. (1968). A Survey of Animals in Distribution Systems. Water Treatment Exam., 17:150.

Stanfield, G. et P.H. Jago (1987). The Development and Use of a Method for Measuring the Concentration of Assimilable Organic Carbon in Water. WRC Report PRU 1628-M.

van der Kooij, D., Visser, A. Nijnen, W.A.M. (1982,a). Determining the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Drinking Water. Journal AWWA, 74, 540-545.

van der Kooij, D., Visser, A. et J.P. Orange (1982,b). Multiplication of Fluorescent Pseudomonas at Low Substrate Concentrations in Tap Water. Antonie van Leeuwen Hoek. Journ. Microb. 48:229.

van der Kooij, D., Hijnen, W.A.M. (1984). Substrate Utilization of an Oxalate-Consuming Spirillum Species in Relation to its Growth in Ozonated Water. Applied and Environmental Microbiology, Vol. 47, no 3, p.p.551-559.

van der Kooij (1988). The Search for a Surrogate, cooperative Research Report. AWWA, octobre. pp.311-375.

Ventresque, C., Bablon, G. Legube, B., Jadas-Hecart, A. (1987). Drinking Water Treatment Development of Chlorine Demand Kinetics. Présentation à la 6ième conférence sur la chloration de l'eau. Oakridge.

Watson, D.C., Novitsky, T.J., Quinby, H.L. et Valvis, T.W. (1977). Determination of Bacterial Number and Biomass in the Marine Environment. Appl. Envir. Microbiol. 33,940-946.

Werner, P. (1982). La microbiologie de la filtration sur charbon actif dans la préparation de l'eau potable. Journées "Information Eaux", Poitiers, France.+

Werner, P. (1984). Investigations of the Substrate Character of the Organic Substances Contained in Water in Connection with Drinking Water Purification. Zentralblatt Für Bacteriologie, Parasiten Kunde, Ifektions kroakheiten, und Hydiene 1, Abt. Orig. B180, 46-61.

Werner, P. (1985). A Method for the Determination of Regrowth in Drinking Water. Von Wasser 65, 258-270.

Werner, P. et B. Hambsch (1986). Investigations on the Growth of Bacteria in Drinking Water. Water Supply 4, Mulhouse, p.p.227-232.

Werner, P. et B. Hambsch (1988). Ursachen Und Erfassung der Wiederverkeimung von Trinkwasser. DVGW-Schriftenreihe Wasser.

ANNEXE 1

TABLEAU A.1 - Résultats COD du 8 au 16 juin 1988
Eau brute et eau ozonée, méthode de différence de COD
(Billen-Servais)

temps d'incubation	COD (mg C/L)			
(heure)	eau brute 1A	eau brute 2A	eau ozonée 1A	eau ozonée 2A
0	6.97	7.08	4.39	4.21
17	6.71	6.60	3.59	3.74
24	6.72	6.69	4.37	3.61
40	6.26	n.d.	3.35	3.40
42	n.d.	6.36	n.d.	n.d.
43	6.46	6.69	3.40	3.41
113	6.30	6.21	3.27	3.21
119	6.67	6.26	3.29	3.30
142	6.41	6.53	3.38	3.35
185	6.39	6.39	3.44	3.43

inoculum EFF CAB #1, filtré sur 3.0 um
n.d.: non-déterminé

TABLEAU A.2 - Résultats de l'échantillonnage du 22/08/88, méthode de différence de COD
(Billen-Servais)

Période d'incubation	COD (mg C/L)					
(jour)	eau brute 1A	eau brute 2A	eau ozonée 1A	eau ozonée 2A	eau CAB #6 1A	eau CAB #6 2A
0	5.93	6.04	3.53	3.48	1.87	1.86
0.9	6.13	5.63	3.63	3.62	1.89	1.97
2.88	6.27	6.85	3.47	3.80	1.95	1.97
3.8	5.81	5.95	3.54	3.28	2.02	2.08
7.9	5.69	5.74	3.46	3.45	1.92	1.91
9.875	5.91	6.04	3.29	3.31	2.41	2.04
15	5.29	5.55	3.09	3.30	1.91	2.07
17	5.20	5.09	2.98	3.15	1.89	1.75
21	5.79	5.76	3.23	3.15	1.87	1.94
24	5.30	5.59	3.00	3.27	1.92	1.97
28	5.21	5.62	3.16	3.31	1.83	1.81

Inoculum: eau effluent CAB #6 , filtré sur 3.0um et à t=24 d réinoculation avec eau brute, filtré sur 3.0 um

TABLEAU A.3 - Résultats, méthode Billen-Servais par différence de COD
88/10/20 au 89/02/28

PERIODE et TYPE D'ECHANTILLON	COD1 (mg C/L)	CODf (mg C/L)	COA (mg C/L)	COA/COD1 (%)	ÉCART-TYPE SUR COA DUPLICATA (mg/L)
20-oct-88					
SA 1	3.45	3.32	0.13	3.8	0.042
SA 2	3.52	3.33	0.19	5.4	
FILTRE CAB-2G					
AFF 1	3.61	2.74	0.87	24	0.177
AFF 2	3.38	2.76	0.62	18	
15 cm 1	3.19	2.62	0.57	18	0.177
15 cm 2	3 09	2.77	0.32	10	
80 cm 1	2.80	2.51	0.29	10	0.141
80 cm 2	2.76	2.67	0.09	3	
140 cm 1	2.63	2.37	0.26	10	0.085
140 cm 2	2.58	2.20	0.38	15	
EFF 1	2.50	2.61	-0.11	-4	0.184
EFF 2	2.53	2.38	0.15	6	
7-déc-88					
SA 1	3.16	3.05	0.11	3	0.125
SA 2	3.07	3.14	-0.07	-2	
FILTRE CAB-2G					
AFF 1	3.06	2.85	0.21	7	0.010
AFF 2	3.09	2.90	0.19	6	
15 cm 1	2.99	2.81	0.18	6	
15 cm 2		2.77			
80 cm 1	2 78	2.73	0.06	2	0.056
80 cm 2	2.83	2.69	0.14	5	
140 cm 1	2.64	2.48	0.15	6	0.005
140 cm 2	2.62	2.47	0.15	6	
EFF 1	2.59	2.34	0.25	10	0.123
EFF 2	2.54	2.46	0.08	3	
FILTRE CAB-5D					
AFF 1	3.12	2.73	0.39	12	0.175
AFF 2	3.02	2.88	0.14	5	
15 cm 1	3.01	2.73	0.28	9	0.026
15 cm 2	2.95	2.71	0.24	8	
80 cm 1	2.75	2.44	0.31	11	0.138
80 cm 2	2.73	2.62	0.11	4	
140 cm 1	2.58	2.25	0.33	13	0.167
140 cm 2	2.52	2.43	0.09	4	
EFF 1	2.40	2.28	0.13	5	0.034
EFF 2	2.50	2.32	0.17	7	

TABLEAU A.3 – Résultats, méthode Billen-Servais par différence de COD
88/10/20 au 89/02/28

PERIODE et TYPE D'ECHANTILLON	CODi (mg C/L)	CODf (mg C/L)	COA (mg C/L)	COA/CODi (%)	ÉCART-TYPE SUR COA DUPLICATA (mg/L)
12-déc-88					
SA 1	3.18	3.14	0.04	1	0.104
SA 2	3.04	3.15	-0.11	-4	
FILTRE CAB 2G					
AFF 1	3.21	2.91	0.31	10	0.018
AFF 2	3.11	2.83	0.28	9	
15 cm 1	3.17	2.85	0.32	10	0.051
15 cm 2	3.03	2.78	0.25	8	
80 cm 1	2.71	2.72	0.00	0	0.167
80 cm 2	2.86	2.63	0.23	8	
140 cm 1	2.87	2.51	0.36	13	0.066
140 cm 2	2.79	2.52	0.27	10	
EFF 1	2.57	2.57	0.00	0	0.045
EFF 2	2.46	2.53	-0.06	-3	
FILTRE CAB-5D					
AFF 1	3.14	2.89	0.24	8	0.074
AFF 2	3.20	2.85	0.35	11	
15 cm 1	3.02	2.99	0.03	1	0.117
15 cm 2	3.03	2.84	0.19	6	
80 cm 1	2.74	2.77	-0.04	-1	0.212
80 cm 2	2.99	2.73	0.26	9	
140 cm 1	2.75	n.d.			
140 cm 2	2.75	n.d.			
EFF 1	2.55	2.56	-0.01	0	0.004
EFF 2	2.42	2.42	0.00	0	
17-jan-89					
SA 1	2.91	2.88	0.03	1	0.007
SA 2	2.98	2.94	0.04	1	
FILTRE CAB 2G					
AFF 1	2.95	2.73	0.22	7	0.120
AFF 2	3.00	2.61	0.39	13	
15 cm 1	2.92	2.54	0.38	13	0.120
15 cm 2	2.82	2.61	0.21	7	
80 cm 1	2.65	2.51	0.14	5	0.028
80 cm 2	2.62	2.52	0.10	4	
140 cm 1	2.65	2.48	0.17	6	0.028
140 cm 2	2.67	2.46	0.21	8	
EFF 1	2.46	2.36	0.10	4	0.099
EFF 2	2.60	2.36	0.24	9	
FILTRE CAB-5D					
AFF 1	3.02	2.57	0.45	15	0.007
AFF 2	2.89	2.43	0.46	16	
15 cm 1	2.82	2.51	0.31	11	0.099
15 cm 2	2.90	2.45	0.45	16	
80 cm 1	2.60	2.44	0.16	6	0.042
80 cm 2	2.62	2.40	0.22	8	
140 cm 1	2.53	2.40	0.13	5	0.007
140 cm 2	2.59	2.45	0.14	5	
EFF 1	2.28	2.32	-0.04	-2	0.021
EFF 2	2.26	2.33	-0.07	-3	

TABLEAU A.3 – Résultats, méthode Billen-Servais par différence de COD
88/10/20 au 89/02/28

PERIODE et TYPE D'ECHANTILLON	CODi (mg C/L)	CODf (mg C/L)	COA (mg C/L)	COA/CODi (%)	ÉCART-TYPE SUR COA DUPLICATA (mg/L)
28-fév-89					
SA-1	2.86	2.93	-0.07	0	0.049
SA-2	2.79	2.93	-0.14	0	
FILTRE CAB-26					
AFF 1	2.86	2.55	0.31	11	0.071
AFF 2	2.92	2.51	0.41	14	
15 cm 1	2.64	2.71	-0.07	-3	0.255
15 cm 2	2.81	2.52	0.29	10	
80 cm 1	2.55	2.60	-0.05	-2	0.042
80 cm 2	2.61	2.60	0.01	0	
140 cm 1	2.46	2.50	-0.04	-2	0.071
140 cm 2	2.44	2.58	-0.14	-6	
EFF 1	2.40	2.54	-0.14	-6	0.099
EFF 2	2.46	2.46	0.00	0	
					MOYENNE DES ÉCARTS-TYPE 0.086

TABLEAU A 4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-26, 88/10/20

	s T-1 I-A	s T-2 I-A	b T-2 I-A	c T-2 I-A	s T-3 I-A	b T-3 I-A	c T-3 I-A	s T-4 I-A	b T-4 I-A	s T-5 I-A	b T-5 I-A	c T-5 I-A	s T-6 I-A	b T-6 I-A
bact /champ 1	0	33	0	0	77	0	0	39	0	27	2	5	22	1
bact /champ 2	1	25	4	0	69	2	4	38	0	42	1	6	23	0
bact /champ 3	0	27	2	0	80	2	10	40	0	20	5	4	23	2
bact /champ 4	0	32	0	0	55	1	4	43	1	20	3	3	26	0
bact /champ 5	1	20	5	0	73	0	9	37	0	29	3	5	20	1
BACT./CHAMP MOY	0 4	27 4	2 2	0	70 8	1	5 4	39 4	0 2	27 6	2 8	4 6	22 8	0 8
LONG. BACT. (oculaire)	4	4	5		3	5	1	3	5	3	5	1	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	0 5	1		0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5	5		2	2	2	1	1	0 5	0 5	0 5	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	5 6E-05	0 00364	0 0015		0 01833	0 00171	0 00132	0 0204	0 00068	0 02858	0 0191	0 0041B	0 01369	0 00273
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	5.60E-05	5.34E-03			2.13E-02			2.11E-02		5.22E-02			1.66E-02	
I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B
bact /champ 1					54	0	0	58	2	19	0	0	36	1
bact /champ 2					67	1	5	60	0	24	0	0	34	0
bact /champ 3					73	1	9	50	0	36	0	0	37	0
bact /champ 4					70	1	8	55	0	32	0	0	33	0
bact /champ 5					66	0	10	54	0	42	0	0	47	0
BACT./CHAMP MOY					62	0 8	6 4	55 4	0 4	30 6	0	0	37 2	0 2
LONG BACT. (oculaire)					3	5	1	3	5	3	5		3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0 5	1	1	0 5	1	0 5	1		0 5	1
VOL. FILTRE (mL)					2	2	2	1	1	0 5	0 5		0 5	0 5
BIOMASSE (mgC/L)					0 01605	0 00102	0 00156	0 02868	0 00136	0 03169	0		0 04532	0 00136
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					1.86E-02			3.00E-02		3.17E-02			4.67E-02	
3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A
bact /champ 1	1	26	0	26	46	3	25	55	2	20	3	6	65	1
bact /champ 2	0	30	0	30	73	2	43	37	1	16	0	18	46	5
bact /champ 3	0	29	0	28	87	6	39	47	0	22	2	14	49	1
bact /champ 4	0	20	0	40	46	3	34	38	2	13	1	18	62	1
bact /champ 5	0	10	4	40	61	1	40	46	1	24	2	15	43	0
BACT /CHAMP MOY	0.2	23	0 8	32 8	62 6	3	36 2	44 6	1 2	19	1 4	14 2	53	1.6
LONG BACT. (oculaire)	4	4	5	1	3	5	1	3	5	3	5	1	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	0 5	1	1	0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5	5	5	2	2	2	1	1	0 5	0 5	0 5	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	2 8E-05	0 00322	0 00055	0 0032	0 01621	0 00512	0 00852	0 02309	0 00409	0 01967	0 00955	0 01384	0 03228	0 00546
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.80E-05	6.96E-03			3.01E-02			2.72E-02		4.31E-02			3.77E-02	
3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B
bact /champ 1					39	12	11	35	0	17	11	0	26	0
bact /champ 2					35	4	21	34	0	11	10	0	24	0
bact /champ 3					30	6	27	34	2	19	14	0	20	1
bact /champ 4					38	0	19	33	0	10	9	0	24	2
bact./champ 5					25	3	27	29	1	11	9	0	16	0
BACT./CHAMP MOY					33 4	5	21	33	0 6	13 6	10 6	0	22	0 6
LONG. BACT. (oculaire)					3	5	1	3	5	3	5		3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0 5	1	1	0 5	1	0 5	1		0 5	1
VOL. FILTRE (mL)					2	2	2	1	1	0 5	0 5		0 5	0 5
BIOMASSE (mgC/L)					0 00865	0 00853	0 00512	0 01709	0 00205	0 01408	0 07232		0 0268	0 00409
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					2.23E-02			1.91E-02		8.64E-02			3.09E-02	

s=bacteries sporiformes, b=batonnets, c=coques

TABLEAU A 4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-20, 88/10/20

	s T-7	b T-7	s T-8	b T-8	c T-8	s T10P	b T10P	s T-11	b T-11	s T-13	b T-13	s T15P	b T15P
I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A
bact./champ 1	31	2	41	0	0	39	0	46	1	25	0	38	2
bact./champ 2	31	1	32	2	0	22	0	45	2	29	2	34	3
bact./champ 3	40	1	34	0	0	25	0	40	0	31	2	26	1
bact./champ 4	33	1	25	0	0	37	2	21	1	24	0	27	1
bact./champ 5	29	1	30	1	0	26	0	30	1	37	0	36	1
BACT./CHAMP MOY	32.8	1.2	32.4	0.6	0	29.8	0.4	36.4	1	29.2	0.8	31.8	1.6
LONG. BACT (oculaire)	3.5	5	3.5	5		3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG. BACT (oculaire)	0.5	1	0.5	1		0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
BIOMASSE (mg C/L)	0.03996	0.00819	0.03947	0.00409		0.0363	0.00273	0.01552	0.00305	0.0249	0.00487	0.03874	0.01092
BIOMASSE JOUR (mg C/L)	4.81E-02		4.36E-02			3.90E-02		1.86E-02		2.98E-02		4.97E-02	
I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B
bact./champ 1	31	0				34	1	22	1	44	1	40	2
bact./champ 2	40	0				43	0	35	0	36	2	32	1
bact./champ 3	31	0				37	1	33	0	30	2	28	1
bact./champ 4	34	0				40	0	37	1	45	0	32	0
bact./champ 5	29	0				40	1	44	0	38	1	31	2
BACT./CHAMP MOY	33	0				38.8	0.6	34.2	0.4	38.6	1.2	32.6	1.2
LONG. BACT (oculaire)	3.5	5				3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG. BACT (oculaire)	0.5	1				0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	0.5	0.5				0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
BIOMASSE (mg C/L)	0.0402	0				0.04727	0.00409	0.02916	0.00244	0.03292	0.00731	0.03971	0.00819
BIOMASSE JOUR (mg C/L)	4.02E-02					5.14E-02		3.16E-02		4.02E-02		4.79E-02	
3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A
bact./champ 1	36	0	27	0	16	19	0	18	0	35	4	49	1
bact./champ 2	24	1	38	2	9	12	0	19	0	31	1	49	2
bact./champ 3	25	2	35	1	22	21	2	15	0	19	0	40	4
bact./champ 4	25	1	27	1	20	20	2	16	0	25	0	53	2
bact./champ 5	24	2	31	4	22	23	2	14	0	29	0	47	1
BACT./CHAMP MOY	26.6	1.2	31.6	1.6	17.8	19	1.2	16.4	0	27.8	1	47.6	2
LONG. BACT. (oculaire)	3.5	5	3.5	5	1	3.5	5	2.5	4.5	2.5	5	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
BIOMASSE (mg C/L)	0.03241	0.00819	0.0385	0.01092	0.01735	0.02315	0.00819	0.01399	0	0.02571	0.00682	0.02899	0.00682
BIOMASSE JOUR (mg C/L)	4.06E-02		6.68E-02			3.13E-02		1.40E-02		3.05E-02		3.58E-02	
3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B
bact./champ 1	16	0	12	6	0	16	0	31	0	24	1	19	0
bact./champ 2	13	0	24	7	9	13	2	19	0	22	1	22	1
bact./champ 3	12	0	23	2	10	21	1	17	1	31	0	15	1
bact./champ 4	9	1	18	3	13	20	1	19	0	19	2	20	0
bact./champ 5	9	0	19	4	0	18	0	27	1	24	1	20	0
BACT./CHAMP MOY	11.8		19.2	4.4	6.4	17.6	0.8	22.6	0.4	24	1	19.2	0.4
LONG. BACT. (oculaire)	3.5	5	3.5	5	1	3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
BIOMASSE (mg C/L)	0.01438	0	0.02339	0.03002	0.00624	0.02144	0.00546	0.01927	0.00244	0.02047	0.00609	0.02339	0.00273
BIOMASSE JOUR (mg C/L)	1.44E-02		5.96E-02			2.69E-02		2.17E-02		2.66E-02		2.61E-02	

s=bacilles spiriformes, b=bâtonnets, c=coques

TABLEAU A 4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-28, 88/10/20

	s	b	s	b	s	b	s	b
	I-18	I18	I22	I22	I27	I27	I35	I35
I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A	I-A
bact /champ 1	68	3	70	2	70	0	119	2
bact /champ 2	55	1	63	3	80	0	118	4
bact /champ 3	56	0	76	4	79	0	138	4
bact /champ 4	38	0	79	2	65	0	124	6
bact /champ 5	69	0	68	1	76	0	130	4
BACT /CHAMP MOY	57.2	0.8	71.2	2.4	74	0	125.8	4
LONG BACT (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	5.5	5
LARG BACT (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2
BIOMASSE (mgC/L)	0.01916	0.00273	0.04337	0.00819	0.04508	0	0.03831	0.00682
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.19E-02		5.16E-02		4.51E-02		4.51E-02	
I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B	I-B
bact /champ 1	75	2	148	2	56	0	204	0
bact /champ 2	70	2	142	0	59	0	170	0
bact /champ 3	69	1	162	0	63	1	184	0
bact /champ 4	72	2	156	2	71	0	192	0
bact /champ 5	67	1	144	0	65	0	202	0
BACT./CHAMP MOY	70.6	1.6	150.4	0.8	62.8	0.2	190.4	0
LONG BACT (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5
LARG BACT (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2
BIOMASSE (mgC/L)	0.02365	0.00546	0.09161	0.00273	0.03825	0.00068	0.05799	0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.91E-02		9.43E-02		3.89E-02		5.80E-02	
3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A	3-A
bact /champ 1	50	0	57	1	72	0	132	2
bact /champ 2	46	3	58	2	66	2	172	6
bact /champ 3	49	1	90	2	73	1	138	2
bact /champ 4	57	0	62	0	63	1	130	2
bact /champ 5	47	0	61	0	68	0	156	4
BACT /CHAMP MOY	49.8	0.8	65.6	1	68.4	0.8	145.6	3.2
LONG BACT (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5
LARG BACT (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2
BIOMASSE (mgC/L)	0.01668	0.00273	0.03996	0.00341	0.04166	0.00273	0.04434	0.00546
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.94E-02		4.34E-02		4.44E-02		4.98E-02	
3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3-B	3 B	3-B
bact /champ 1	32	0	106	0	73	0	100	0
bact /champ 2	46	0	118	4	58	0	88	2
bact /champ 3	45	0	120	0	58	0	94	1
bact /champ 4	35	1	133	0	52	0	105	2
bact /champ 5	22	2	110	2	55	0	118	2
BACT./CHAMP MOY	36	0.6	117.4	1.2	59.2	0	101	1.4
LONG BACT (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5
LARG BACT (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2
BIOMASSE (mgC/L)	0.01206	0.00205	0.07151	0.00409	0.03606	0	0.05076	0.00239
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.41E-02		7.56E-02		3.61E-02		5.31E-02	

s=lavures des spermiductes, b=boudins, c=coupes

TABLEAU A 4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-2G, 88/10/20

	s T-1 7-A	s T-2 7-A	b T-2 7-A	c T-2 7-A	s T-3 7-A	b T-3 7-A	c T-3 7-A	s T-4 7-A	b T-4 7-A	s T-5 7-A	b T-5 7-A	c T-5 7-A	s T-6 7-A	b T-6 7-A
7-A														
bact./champ. 1	1	15	0	9	46	0	0	21	0	17	0	2	17	0
bact./champ. 2	1	4	6	14	45	0	0	18	0	27	0	0	19	0
bact./champ. 3	2	14	0	8	32	0	0	33	0	23	1	0	21	0
bact./champ. 4	0	12	0	2	53	0	0	37	0	23	0	3	21	0
bact./champ. 5	1	16	1	5	52	0	0	32	0	22	0	2	15	0
BACT./CHAMP. MOY.	1	12.2	1.4	7.6	45.6	0	0	28.2	0	22.4	0.2	1.4	18.6	0
LONG. BACT. (oculaire)	4	4	5	1	3	5	1	3	5	3	5	1	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	0.5	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5	5	5	2	2	2	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.00014	0.00171	0.00096	0.00074	0.0118	0	0	0.0146	0	0.0232	0.00136	0.00156	0.01133	0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.40E-04	3.41E-03			1.18E-02			1.46E-02		2.59E-02			1.13E-02	
7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B
bact./champ. 1					46	0	0	37	0	18	0	0	26	0
bact./champ. 2					50	1	0	29	0	16	0	0	30	0
bact./champ. 3					47	1	4	35	0	19	0	0	23	0
bact./champ. 4					49	0	3	34	0	20	0	0	25	0
bact./champ. 5					36	2	10	25	0	15	0	0	20	0
BACT./CHAMP. MOY.					46	0.8	3.4	32	0	17.6	0	0	24.8	0
LONG. BACT. (oculaire)					3	5	1	3	5	3	5		3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0.5	1	1	0.5	1	0.5	1		0.5	1
VOL. FILTRE (mL)					2	2	2	1	1	0.5	0.5		0.5	0.5
BIOMASSE (mgC/L)					0.01191	0.00136	0.00083	0.01657	0	0.01822	0		0.02021	0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					1.41E-02			1.66E-02		1.82E-02			3.02E-02	
9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A
bact./champ. 1	2	21			41	2	0	40	0	37	0	1	35	0
bact./champ. 2	1	14			45	1	0	31	0	25	3	3	39	0
bact./champ. 3	1	15			55	0	0	23	1	27	2	3	36	0
bact./champ. 4	2	25			50	0	0	40	0	16	2	0	45	0
bact./champ. 5	0	19			49	0	0	36	0	28	1	0	44	0
BACT./CHAMP. MOY.	1	18.8			48	0.6	0	34	0.2	26.6	1.6	1.4	39.8	0
LONG. BACT. (oculaire)	1	4			3	5	1	3	5	3	5	1	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	0.5			0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5			2	2	2	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.00056	0.00263			0.01243	0.00102	0	0.0176	0.00068	0.02754	0.01092	0.00136	0.02424	0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	5.60E-04	2.63E-03			1.34E-02			1.83E-02		3.98E-02			2.42E-02	
9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B
bact./champ. 1					35	0	0	20	0	18	0	0	16	0
bact./champ. 2					32	0	8	23	0	13	0	0	21	0
bact./champ. 3					41	2	9	24	0	14	0	0	15	0
bact./champ. 4					37	0	0	25	0	16	0	0	17	1
bact./champ. 5					32	0	7	20	0	12	0	0	15	1
BACT./CHAMP. MOY.					35.4	0.4	4.8	22.4	0	14.6	0	0	16.8	0.4
LONG. BACT. (oculaire)					3	5	1	3	5	3	5		3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0.5	1	1	0.5	1	0.5	1		0.5	1
VOL. FILTRE (mL)					2	2	2	1	1	0.5	0.5		0.5	0.5
BIOMASSE (mgC/L)					0.00916	0.00068	0.00117	0.0116	0	0.01512	0		0.02047	0.00273
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					1.10E-02			1.16E-02		1.51E-02			2.32E-02	

s=bacilles spiralliformes, b=bâtonnets, c=coques

TABLEAU A 4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, T - 26, 887 10/20

	s	b	s	b	c	s	b	b	b	s	b	s	b
	T-7	T-7	T-8	T-8	T-8	T10 P	T10 P	T-11	T-11	T-13	T-13	T15 P	T15 P
7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A	7-A
bact./champ. 1	38	3	55	0	16	37	1	52	0	41	0	31	0
bact./champ. 2	42	0	43	0	7	35	2	46	3	28	1	27	0
bact./champ. 3	40	0	56	0	9	43	0	45	1	26	0	27	2
bact./champ. 4	44	0	48	1	6	58	1	55	0	33	0	31	1
bact./champ. 5	36	0	48	0	7	54	1	40	0	43	1	26	0
BACT./CHAMP. MOY	40	0 6	50	0 2	9	45 4	1	47 6	0 8	34 2	0 4	28 6	0 6
LONG. BACT. (oculaire)	3 5	5	3 5	5	1	3 5	5	2 5	4 5	2 5	4 5	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	0 5	0 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0 5	0 5
BIOMASSE (mgC/L)	0 04873	0 00409	0 03046	0 00068	0 00439	0 02765	0 00341	0 0203	0 00244	0 01458	0 00122	0 03484	0 00409
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	5 28E-02		3 55E-02			3 11E-02		2 27E-02		1 58E-02		3 89E-02	
7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B	7-B
bact./champ. 1	38	0	32	1	9	29	0	25	0	30	0	31	0
bact./champ. 2	36	0	39	2	10	35	0	36	0	32	0	26	0
bact./champ. 3	39	0	39	2	9	24	1	26	0	33	0	26	0
bact./champ. 4	33	0	43	4	6	40	1	37	0	26	0	21	1
bact./champ. 5	40	0	56	1	13	32	0	32	0	28	0	28	0
BACT./CHAMP. MOY	37.2	0	41 8	2	9 4	32	0 4	31 2	0	29 8	0	26 4	0 2
LONG. BACT. (oculaire)	3 5	5	3 5	5	1	3 5	5	2 5	5	2 5	4 5	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0 5	0 5
BIOMASSE (mgC/L)	0 02266	0	0 02546	0 00682	0 00458	0 01949	0 00136	0 0133	0	0 01271	0	0 03216	0 00136
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2 27E-02		3 69E-02			2 09E-02		1 33E-02		1 27E-02		3 35E-02	
9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A	9-A
bact./champ. 1	25	0	34	1	3	32	1	39	1	38	0	33	0
bact./champ. 2	16	0	48	0	0	36	0	34	1	33	2	35	0
bact./champ. 3	17	0	53	3	7	36	0	37	2	37	0	46	1
bact./champ. 4	19	0	40	0	0	46	0	36	1	36	1	32	2
bact./champ. 5	18	1	33	0	5	43	0	37	0	37	1	29	1
BACT./CHAMP. MOY	19	0 2	41 6	0 8	3	38 6	0 2	36 6	1	36 2	0 8	35	0 8
LONG. BACT. (oculaire)	3 5	5	3 5	5	1	3 5	5	2 5	4 5	2 5	4 5	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0 01167	0 00068	0 02534	0 00273	0 00146	0 02351	0 00068	0 01561	0 00305	0 01544	0 00244	0 02132	0 00273
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1 23E-02		2 95E-02			2 42E-02		1 67E-02		1 79E-02		2 40E-02	
9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B	9-B
bact./champ. 1	31	0	38	6	18	30	2	24	0	24	1	43	1
bact./champ. 2	26	0	53	2	21	47	2	28	1	18	1	48	0
bact./champ. 3	33	0	49	4	20	34	1	32	0	25	1	46	0
bact./champ. 4	30	0	28	9	15	43	2	31	0	25	0	40	1
bact./champ. 5	28	0	50	5	17	37	0	24	0	26	0	45	1
BACT./CHAMP. MOY	29 6	0	43 6	5 2	18 2	37 4	1 4	27 8	0 2	23 6	0 6	44 4	0 6
LONG. BACT. (oculaire)	3 5	5	3 5	5	1	3 5	5	2 5	4 5	2 5	4 5	3 5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0 5	1	0 5	1	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1	0 5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0 01803	0	0 02656	0 01774	0 00687	0 02278	0 00478	0 01165	0 00061	0 01006	0 00183	0 02705	0 00205
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1 80E-02		5 32E-02			2 76E-02		1 25E-02		1 19E-02		4 91E-02	

s=bactéries spirillaires, b=bâtonnets, c=coques

TABLEAU A-1 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-28, 88/10/20

	s T-18		b T18		s T22		b T22		s T27		b T27		s T35		b T35	
7-A	7-A		7-A		7-A		7-A		7-A		7-A		7-A		7-A	
bact /champ 1		51		0		64		2		40		0		158		0
bact /champ 2		51		4		60		0		47		0		152		0
bact /champ 3		53		1		70		0		62		0		154		0
bact /champ 4		47		0		66		1		51		0		148		0
bact /champ 5		49		1		67		0		78		0		146		0
BACT./CHAMP MOY		50 2		1 2		65 4		0 6		55 6		0		151 6		0
LONG BACT (oculaire)		2		5		3 5		5		3 5		5		3 5		5
LARG BACT (oculaire)		0 5		1		0 5		1		0 5		1		0 5		1
VOL FILTRE (mL)		1		1		1		1		1		1		2		2
BIOMASSE (mgC/L)		0 01682		0 00409		0 03984		0 00205		0 03387		0		0 04617		0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)		2 09E-02				4 19E-02				3 59E-02				4 62E-02		
7-B	7-B		7-B		7-B		7-B		7-B		7-B		7-B		7-B	
bact /champ 1		44		0		124		0		70		0		164		6
bact /champ 2		40		1		112		0		51		0		164		12
bact /champ 3		34		2		134		0		52		0		158		6
bact /champ 4		37		2		148		0		59		0		160		8
bact /champ 5		55		1		124		0		65		0		124		4
BACT./CHAMP MOY		42		1 2		128 4		0		59 4		0		154		7 6
LONG BACT (oculaire)		2		5		3 5		5		3 5		5		3 5		5
LARG BACT (oculaire)		0 5		1		0 5		1		0 5		1		0 5		1
VOL FILTRE (mL)		1		1		1		1		1		1		2		2
BIOMASSE (mgC/L)		0 01407		0 00409		0 07821		0		0 03618		0		0 0469		0 01296
BIOMASSE JOUR (mgC/L)		1 82E-02				7 82E-02				3 62E-02				5 99E-02		
9-A	9-A		9-A		9-A		9-A		9-A		9-A		9-A		9-A	
bact /champ 1		44		0		56		5		53		1		122		0
bact /champ 2		29		0		62		3		59		0		106		2
bact /champ 3		41		0		72		2		52		1		112		2
bact /champ 4		37		2		68		1		78		0		124		0
bact /champ 5		41		0		60		1		64		0		118		2
BACT./CHAMP MOY		38 4		0 4		63 4		2 4		61 2		0 4		116 4		1 2
LONG BACT (oculaire)		2		5		3 5		5		3 5		5		3 5		5
LARG BACT (oculaire)		0 5		1		0 5		1		0 5		1		0 5		1
VOL FILTRE (mL)		1		1		1		1		1		1		2		2
BIOMASSE (mgC/L)		0 01286		0 00136		0 03862		0 00619		0 03728		0 00136		0 03545		0 00205
BIOMASSE JOUR (mgC/L)		1 42E-02				4 66E-02				3 86E-02				5 75E-02		
9-B	9-B		9-B		9-B		9-B		9-B		9-B		9-B		9-B	
bact /champ 1		45		0		120		0		30		0		62		0
bact /champ 2		37		0		114		0		50		0		72		0
bact /champ 3		41		1		136		0		26		0		74		0
bact /champ 4		31		0		130		0		32		0		69		0
bact /champ 5		35		0		146		0		40		0		81		0
BACT./CHAMP MOY		37 8		0 2		130 4		0		35 6		0		71 6		0
LONG BACT (oculaire)		2		5		3 5		5		3 5		5		3 5		5
LARG BACT (oculaire)		0 5		1		0 5		1		0 5		1		0 5		1
VOL FILTRE (mL)		1		1		1		1		1		1		2		2
BIOMASSE (mgC/L)		0 01266		0 00068		0 07943		0		0 02168		0		0 02181		0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)		1 33E-02				7 94E-02				2 17E-02				2 18E-02		

s=bacteries spiriformes, b=batonnets, c=coques

TABLEAU A 4 - RESULTAT DE L'ETUDE D'EFFLUENCE, F-26, 89/10/20

	s T-1	s T-2	b T-2	c T-2	s T-3	b T-3	c T-3	s T-4	b T-4	s T-5	b T-5	c T-5	s T-6	b T-6
EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A
bact./champ 1	3	16			43		0	27	0				30	0
bact./champ 2	0	14			42		0	23	0				20	0
bact./champ 3	4	22			28		0	17	0				33	1
bact./champ 4	1	18			44		0	29	0				23	0
bact./champ 5	1	26			34		0	28	1				20	2
BACT./CHAMP MOY	1.6	19.2			38.2		0	24.8	0				25.2	0.6
LONG. BACT. (oculaire)	4	4			3		5	3	5				3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	0.5			0.5		1	0.5	1				0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5			2		2	1	1				1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.00025	0.00269			0.00989		0	0.01284	0				0.01535	0.00205
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.52E-04	2.69E-03			9.89E-03			1.28E-02					1.74E-02	
EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B
bact./champ 1					30		0	29	0				13	0
bact./champ 2					19		0	27	0				12	0
bact./champ 3					26		0	26	0				19	1
bact./champ 4					35		0	22	0				15	0
bact./champ 5					43		0	20	0				15	0
BACT./CHAMP MOY					30.6		0	24.8	0	0	0		14.8	0.2
LONG. BACT. (oculaire)					3		5	3	5				3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0.5		1	0.5	1				0.5	1
VOL. FILTRE (mL)					2		2	1	1				0.5	0.5
BIOMASSE (mgC/L)					0.00792		0	0.01284	0				0.01803	0.00136
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					7.92E-03			1.28E-02					1.94E-02	
SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A
bact./champ 1	5	27			24		0			13	1	9	21	1
bact./champ 2	4	24			32		0			11	0	3	25	1
bact./champ 3	0	19			26		0			21	0	6	15	0
bact./champ 4	4	17			25		0			8	0	3	16	1
bact./champ 5	2	27			28		0			13	6	2	17	0
BACT./CHAMP MOY	3	22.8			27		0			13.2	1.4	4.6	18.8	0.6
LONG. BACT. (oculaire)	4	4			3		5			3	5	1	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	0.5			0.5		1			0.5	1	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	5	5			2		2			0.5	0.5	0.5	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.00042	0.00319			0.00699		0			0.01367	0.00955	0.00448	0.01145	0.00205
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	4.20E-04	3.19E-03			6.99E-03					2.27E-02			1.35E-02	
SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B
bact./champ 1					37		0	16	0				19	1
bact./champ 2					40		0	18	0				23	1
bact./champ 3					31		0	20	0				27	0
bact./champ 4					28		0	19	0				27	0
bact./champ 5					38		0	26	0				22	3
BACT./CHAMP MOY					34		0	19.8	0				23.6	1
LONG. BACT. (oculaire)					3		5	3	5				3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)					0.5		1	0.5	1				0.5	1
VOL. FILTRE (mL)					2		2	1	1				0.5	0.5
BIOMASSE (mgC/L)					0.0088		0	0.01025	0				0.02875	0.00682
BIOMASSE JOUR (mgC/L)					8.80E-03			1.03E-02					3.56E-02	

s=bacilles, b=bâtonnets, c=coques

TABLEAU 4 RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-26, 88/10/20

	s T-7	b T-7	s T-8	b T-8	c T-8	s T10 P	b T10 P	s T-11	b T-11	s T-13	b T-13	s T15 P	b T15 P
EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A
bact./champ 1	26	0	24	1		31	0	29	0	29	0	22	0
bact./champ 2	26	3	25	5		21	0	32	0	24	1	23	2
bact./champ 3	27	0	32	4		34	0	28	0	26	0	20	0
bact./champ 4	33	0	25	2		25	3	23	1	22	2	25	0
bact./champ 5	25	3	29	0		28	0	27	0	32	2	20	0
BACT./CHAMP MOY	27.4	1.2	27	2.4	0	27.8	0.6	27.8	0.2	26.6	1	22	0.4
LONG BACT. (oculaire)	3.5	5	3.5	5	1	3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5
BIOMASSE (mgC/L)	0.01669	0.00409	0.01645	0.00819	0	0.01693	0.00205	0.01185	0.00061	0.01134	0.00305	0.0268	0.00273
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.08E-02		2.46E-02			1.90E-02		1.25E-02		1.44E-02		2.95E-02	
EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B
bact./champ 1	27	0	21	0	0	24	0	28	2	18	3	40	1
bact./champ 2	33	1	28	0	0	21	2	26	0	19	0	31	0
bact./champ 3	18	0	25	0	5	13	0	18	0	16	0	33	2
bact./champ 4	28	0	28	0	0	19	1	17	0	17	1	27	2
bact./champ 5	26	0	29	1	2	17	0	25	0	22	1	39	1
BACT./CHAMP MOY	26.4	0.2	26.2	0.2	1.4	18.8	0.6	22.8	0.4	18.4	1	34	1.2
LONG BACT. (oculaire)	3.5	5	3.5	5	1	3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.01608	0.00068	0.01596	0.00069	0.00068	0.01145	0.00205	0.00972	0.00122	0.00785	0.00305	0.02071	0.00409
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.68E-02		1.73E-02			1.35E-02		1.09E-02		1.09E-02		2.48E-02	
SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A
bact./champ 1	29	0	32	5	0	40	2	35	0	18	2	33	0
bact./champ 2	31	2	37	1	10	34	2	28	0	21	1	25	0
bact./champ 3	34	0	26	3	11	46	0	26	1	18	3	34	0
bact./champ 4	28	1	26	2	3	37	1	31	2	20	1	38	1
bact./champ 5	44	0	29	1	5	36	0	32	0	22	1	25	0
BACT./CHAMP MOY	33.2	0.6	30	2.4	5.8	38.6	1	30.4	0.6	19.8	1.6	31	0.2
LONG BACT. (oculaire)	3.5	5	3.5	5	1	3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.02022	0.00205	0.01827	0.00819	0.00283	0.02351	0.00341	0.01296	0.00183	0.00844	0.00487	0.01888	0.00068
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.23E-02		2.93E-02			2.69E-02		1.48E-02		1.33E-02		1.96E-02	
SA-B	SA-B	B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B
bact./champ 1	42	1				41	1	37	1	32	2	41	0
bact./champ 2	34	8				34	5	40	0	30	3	35	0
bact./champ 3	45	2				46	3	34	3	24	1	37	0
bact./champ 4	40	4				38	2	41	1	34	4	42	0
bact./champ 5	45	5				39	5	41	4	23	2	45	0
BACT./CHAMP MOY	41.2	4				39.6	3.2	38.6	1.8	28.6	2.4	40	0
LONG. BACT. (oculaire)	3.5	5				3.5	5	2.5	4.5	2.5	4.5	3.5	5
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	1				0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
VOL. FILTRE (mL)	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1
BIOMASSE (mgC/L)	0.0251	0.01364				0.02412	0.01092	0.01646	0.00548	0.01219	0.00731	0.02436	0
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	3.87E-02					3.50E-02		2.19E-02		1.95E-02		2.44E-02	

s=bactéries spiralées, b=bâtonnets, c=coques

TABLEAU A.4 - RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, F-28, 88/10/20

	s	b	s	b	s	b	s	b					
	T-18	T18	T22	T22	T27	T27	T35	T35					
EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A	EFF-A					
bact./champ 1	30	0	75	4	41	0	72	0					
bact./champ 2	24	0	82	2	44	0	49	0					
bact./champ 3	34	3	72	3	46	0	58	0					
bact./champ 4	40	1	73	4	52	0	61	0					
bact./champ 5	36	1	75	2	50	1	50	0					
BACT./CHAMP MOY	32.8	1	75.4	3	46.6	0.2	58	0					
LONG BACT. (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5					
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1					
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2					
BIOMASSE (mgC/L)	0.01099	0.00341	0.04593	0.01023	0.02839	0.00008	0.01766	0					
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.44E-02		5.62E-02		2.91E-02		1.77E-02						
EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B	EFF-B					
bact./champ 1	29	0	106	0	18	0	72	0					
bact./champ 2	23	0	110	0	18	1	77	0					
bact./champ 3	22	0	100	0	29	2	82	0					
bact./champ 4	27	0	108	0	25	1	71	0					
bact./champ 5	28	0	122	0	24	0	87	0					
BACT./CHAMP MOY	25.8	0	109.2	0	22.8	0.8	77.8	0					
LONG BACT. (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5					
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1					
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2					
BIOMASSE (mgC/L)	0.00864	0	0.06652	0	0.01389	0.00273	0.02369	0					
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	8.64E-03		6.65E-02		1.66E-02		2.37E-02						
SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A	SA-A					
bact./champ 1	35	1	59	1	57	0	95	0					
bact./champ 2	38	2	40	0	46	1	116	2					
bact./champ 3	33	0	49	0	65	0	122	0					
bact./champ 4	32	1	52	1	63	1	158	0					
bact./champ 5	33	2	52	0	55	0	144	2					
BACT./CHAMP MOY	34.2	1.2	50.4	0.4	57.2	0.4	127	0.8					
LONG BACT. (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5					
LARG BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1					
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2					
BIOMASSE (mgC/L)	0.01146	0.00409	0.0307	0.00136	0.03484	0.00136	0.03868	0.00136					
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	1.56E-02		3.21E-02		3.62E-02		4.00E-02						
SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B	SA-B					
bact./champ 1	53	2	138	0	78	3							
bact./champ 2	60	3	126	4	89	1							
bact./champ 3	54	1	116	4	74	4							
bact./champ 4	52	3	138	2	94	4							
bact./champ 5	50	2	128	2	91	3							
BACT./CHAMP MOY	53.8	2.2	129.2	2.4	85.2	3	0	0					
LONG. BACT. (oculaire)	2	5	3.5	5	3.5	5	3.5	5					
LARG. BACT. (oculaire)	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1					
VOL. FILTRE (mL)	1	1	1	1	1	1	2	2					
BIOMASSE (mgC/L)	0.01802	0.0075	0.0787	0.00819	0.0519	0.01023	0	0					
BIOMASSE JOUR (mgC/L)	2.55E-02		8.69E-02		6.21E-02								

s=bacteries spiriformes, b=baconnets, c=coques

TABLEAU A5: RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-1											
1-A	0	0	5	0	1	1.2	2	0.5	5	8.04E-05	
	2	6	6	1	2	3.4	0.5	0.5	5	4.14E-05	
	1	0	3	0	0	0.8	2	0.5	5	5.36E-05	0.000175
1-B	5	2	2	3	3	3	2	0.5	5	0.000201	
	9	4	3	4	6	5.2	0.5	0.5	5	6.33E-05	
	1	0	1	0	1	0.6	2	0.5	5	4.02E-05	0.000305
3-A	1	4	4	1	0	2	2	0.5	5	0.000134	
	1	2	1	1	1	1.2	0.5	0.5	5	1.46E-05	0.000149
3-B	0	4	2	1	0	1.4	2	0.5	5	9.38E-05	
	1	0	0	0	0	0.2	0.5	0.5	5	2.44E-06	
	0	0	1	1	0	0.4	2	0.5	5	2.68E-05	0.000123
7-A	0	1	2	2	0	1	5	1	5	0.000682	
	0	1	1	0	0	0.4	0.5	0.5	5	4.87E-06	
	1	0	0	0	0	0.2	5	1	5	0.000136	0.000824
7-B	2	2	1	1	3	1.8	5	1	5	0.001228	
	5	7	0	4	5	4.2	0.5	0.5	5	5.12E-05	0.001279
9-A	2	2	0	2	1	1.4	5	1	5	0.000955	
	1	1	2	1	3	1.6	0.5	0.5	5	1.95E-05	
	0	0	0	0	1	0.2	5	1	5	0.000136	0.001111
9-B	1	2	0	1	1	1	5	1	5	0.000682	
	3	1	2	0	0	1.2	0.5	0.5	5	1.46E-05	
	0	0	0	1	0	0.2	5	1	5	0.000136	0.000833
Eff. A	0	1	2	1	2	1.2	5	1	5	0.000819	
	5	2	1	0	1	1.8	0.5	0.5	5	2.19E-05	0.000841
Eff. B	2	5	0	2	2	2.2	5	1	5	0.001501	
	1	0	0	5	2	1.6	0.5	0.5	5	1.95E-05	
	0	0	0	0	1	0.2	5	1	5	0.000136	0.001657
SA-A	4	4	4	3	3	3.6	5	1	5	0.002456	
	9	6	7	8	13	8.6	0.5	0.5	5	0.000105	
	1	1	0	1	0	0.6	5	1	5	0.000409	0.00297
SA-B	0	0	2	1	1	0.8	1.5	0.5	5	3.9E-05	
	4	8	3	3	1	3.8	0.5	0.5	5	4.63E-05	
	0	0	0	0	1	0.2	1.5	0.5	5	9.75E-06	9.5E-05
T-3											
1-A	39	106	103	93	100	88.2	3	1	5	0.034384	
	1	1	1	6	1	2	0.75	0.75	5	8.22E-05	
	14	17	10	8	9	11.6	3	1	5	0.004522	0.038988
1-B	103	84	100	74	81	88.4	3	1	5	0.034462	
	0	0	0	2	0	0.4	0.75	0.75	5	1.64E-05	
	8	11	10	7	16	10.4	3	1	5	0.004054	0.038533
3-A	131	126	51	89	68	93	3	1	5	0.036255	
	3	0	4	1	1	1.8	0.75	0.75	5	7.4E-05	
	4	10	4	7	2	5.4	3	1	5	0.002105	0.038434
7-A	140	139	145	131	148	140.6	3	1	5	0.054811	
	5	0	1	0	3	1.8	0.75	0.75	5	7.4E-05	
	24	20	20	2	15	16.2	3	1	5	0.006315	0.061201
7-B	161	172	158	175	151	163.4	3	1	5	0.0637	
	4	1	1	1	2	1.8	0.75	0.75	5	7.4E-05	
	19	14	22	16	17	17.6	3	1	5	0.006861	0.070635

TABLEAU 5: RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-3											
9-A	226	185	212	181	183	197.4	2	0.5	5	0.013227	
	9	7	8	12	19	11	0.5	0.5	5	0.000134	
	8	6	12	6	4	7.2	2	0.5	5	0.000482	0.013843
9-B	161	148	225	211	183	185.6	2	0.5	5	0.012436	
	12	17	0	4	3	7.2	0.5	0.5	5	8.77E-05	
	15	6	8	10	7	9.2	2	0.5	5	0.000616	0.01314
Eff. A	79	58	80	78	84	75.8	2	0.5	5	0.005079	
	1	2	0	2	2	1.4	0.5	0.5	5	1.71E-05	
	4	4	8	5	4	5	2	0.5	5	0.000335	0.005431
Eff. B	104	98	79	85	93	91.8	2	0.5	5	0.006151	
	0	2	3	2	0	1.4	0.5	0.5	5	1.71E-05	
	5	5	7	7	8	6.4	2	0.5	5	0.000429	0.006597
SA-A	16	15	9	14	11	13	2	0.5	5	0.000871	
	1	2	3	2	6	2.8	0.5	0.5	5	3.41E-05	
	1	0	0	0	0	0.2	2	0.5	5	1.34E-05	0.000919
SA-B	20	12	20	13	19	16.8	2	0.5	5	0.001126	
	1	3	0	0	2	1.2	0.5	0.5	5	1.46E-05	
	0	1	0	2	0	0.6	2	0.5	5	4.02E-05	0.00118
T-4											
1-A	38	55	43	59	55	50	3	1	2	0.04873	
	9	4	4	3	2	4.4	0.75	0.75	2	0.000452	
	0	0	2	7	8	3.4	3	1	2	0.003314	0.052496
1-B	109	71	75	73	69	79.4	3	1	2	0.077383	
	7	2	4	0	0	2.6	0.75	0.75	2	0.000267	
	11	10	6	7	9	8.6	3	1	2	0.008382	0.086032
1-C	62	70	53	45	81	62.2	3	1	2	0.06062	
	4	4	11	6	6	4.2	0.75	0.75	2	0.000432	
	5	3	9	6	7	6	3	1	2	0.005848	0.066899
3-A	61	40	47	62	51	52.2	3	1	2	0.050874	
	0	4	4	2	2	2.4	0.75	0.75	2	0.000247	
	0	2	1	1	3	1.4	3	1	2	0.001364	0.052485
3-B	71	51	52	56	46	55.2	3	1	2	5.38E-02	
	0	1	4	2	3	2	0.75	0.75	2	0.000206	
	11	11	12	12	16	12.4	3	1	2	0.012085	0.066088
7-A	73	85	96	95	81	86	3	1	2	0.083815	
	7	3	5	5	4	4.8	0.75	0.75	2	0.000493	
	14	12	13	2	11	10.4	3	1	2	0.010136	0.094445
9-A	140	153	134	147	129	140.6	3	1	2	0.137028	
	10	16	22	19	14	16.2	0.75	0.75	2	0.001665	
	8	6	4	6	3	5.4	3	1	2	0.005263	0.143957
9-B	103	118	144	114	149	125.6	3	1	2	0.12241	
	27	13	21	9	10	16	0.75	0.75	2	0.001645	
	9	2	2	3	5	4.2	3	1	2	0.004093	0.128147
Eff. A	58	53	51	63	64	57.8	2.5	0.5	2	0.012323	
	2	5	6	1	1	3	0.75	0.75	2	0.000308	
	0	1	0	1	2	0.8	2.5	0.5	2	0.000171	0.012801
Eff. B	62	74	61	52	58	61.4	2.5	0.5	2	0.01309	
	5	1	1	6	1	2.8	0.75	0.75	2	0.000288	
	1	2	2	8	5	3.6	2.5	0.5	2	0.000767	0.014145
SA-A	47	28	27	35	40	35.4	3	1	2	0.034501	
	3	1	3	5	0	2.4	0.75	0.75	2	0.000247	0.034747
							3	1			
SA-B	35	39	37	47	48	41.2	3	1	2	0.040153	
	2	6	2	12	6	5.6	0.75	0.75	2	0.000576	
	4	0	5	1	2	2.4	3	1	2	0.002339	0.043068

TABLEAU A5 RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-5											
1-A	21	21	16	13	26	19.4	4	1	1	0.051995	
	0	3	0	6	1	2	2	2	1	0.007797	
	0	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0.059792
1-B	38	32	33	29	56	37.6	4	1	1	0.100773	
	6	14	14	10	9	10.6	2	2	1	0.041323	
	0	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0.142096
3-A	71	62	67	54	52	61.2	4	1	2	0.082012	
	1	1	1	2	3	1.6	2	2	2	0.003119	
	1	3	1	6	6	3.4	4	1	2	0.004556	0.089687
3-B	75	85	60	75	70	73	4	1	2	0.097825	
	6	7	12	2	3	6	2	2	2	0.011695	
	0	0	2	0	0	0.4	4	1	2	0.000536	0.110056
7-A	59	36	42	48	47	46.4	2	0.5	2	0.007772	
	0	0	0	1	0	0.2	2	2	2	0.00039	
	10	11	8	11	10	10	4	1	2	0.013401	0.021563
7-B	67	65	60	59	75	65.2	4	1	2	0.087373	
	6	4	4	13	4	6.2	2	2	2	0.012085	
	4	10	18	15	16	12.6	4	1	2	0.016885	0.116343
9-A	58	65	69	118	99	81.8	2	1	2	0.049826	
	35	33	23	17	36	28.8	2	2	2	0.056137	
	0	1	0	0	0	0.2	4	1	2	0.000268	0.106231
9-B	94	132	150	156	113	129	2	1	2	0.078577	
	6	1	5	1	1	2.8	2	2	2	0.005458	
	8	12	12	6	11	9.8	4	1	2	0.013133	0.097167
Eff. A	44	39	45	46	46	44	4	1	2	0.058963	
	5	8	2	2	3	4	2	2	2	0.007797	
	11	10	6	6	3	7.2	4	1	2	0.009649	0.076408
Eff. B	72	78	73	81	80	76.8	4	1	2	0.102918	
	3	2	4	2	5	3.2	2	2	2	0.006237	
	10	7	6	3	6	6.4	4	1	2	0.008576	0.117731
SA-A	50	35	47	45	34	42.2	4	1	2	0.056551	
	2	3	6	4	6	4.2	2	2	2	0.008187	
	0	0	0	4	3	1.4	4	1	2	0.001876	0.066614
SA-B	29	45	52	27	47	40	4	1	2	0.053603	
	12	4	7	7	4	6.8	2	2	2	0.013255	
	2	0	1	3	3	1.8	4	1	2	0.002412	0.06927
T-7											
1-A	64	58	24	64	59	53.8	4	1	2	0.072096	
	3	7	3	2	9	4.8	2	2	2	0.009356	
	1	3	2	5	1	2.4	4	1	2	0.003216	0.084668
1-B	69	69	55	83	61	67.4	4	1	2	0.090321	
	6	5	3	1	5	4	2	2	2	0.007797	
	0	1	2	1	2	1.2	4	1	2	0.001608	0.099726
3-A	58	77	54	75	69	66.6	4	1	2	0.089249	
	4	1	4	6	6	4.2	2	2	2	0.008187	
	2	3	3	2	5	3	4	1	2	0.00402	0.101456
7-A	49	137	147	109	110	110.4	4	1	2	0.147944	
	14	8	17	17	7	12.6	2	2	2	0.02456	
	6	2	3	2	2	3	4	1	2	0.00402	0.176524
7-B	62	73	86	78	57	71.2	4	1	2	0.095413	
	9	7	10	4	5	7	2	2	2	0.013644	
	3	0	3	3	1	2	4	1	2	0.00268	0.111738

TABLEAU 45 RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-7											
9-A	153	156	146	144	128	145.4	4	1	2	0.194847	
	9	14	23	13	19	15.6	2	2	2	0.030407	
	9	6	6	5	5	6.2	4	1	2	0.008308	0.233562
9-B	142	18	67	146	167	108	4	1	2	0.144728	
	32	6	38	39	44	31.8	2	2	2	0.061984	
	2	0	2	7	4	3	4	1	2	0.00402	0.210732
Eff. A	78	66	87	74	96	80.2	4	1	2	0.107474	
	4	9	11	9	5	7.6	2	2	2	0.014814	
	3	9	6	3	4	5	4	1	2	0.0067	0.128988
Eff. B	55	55	57	64	62	58.6	4	1	2	0.078528	
	11	9	8	13	7	9.6	2	2	2	0.018712	
	1	1	2	0	3	1.4	4	1	2	0.001876	0.099117
SA-A	54	53	46	53	49	51	4	1	2	0.068344	
	4	6	9	3	5	5.4	2	2	2	0.010526	
	0	1	2	4	0	1.4	4	1	2	0.001876	0.080745
SA-B	54	7	23	45	22	30.2	4	1	2	0.04047	
	4	0	8	7	4	4.6	2	2	2	0.008966	
	0	0	0	2	0	0.4	4	1	2	0.000536	0.049973
T-8											
1-A	36	40	41	37	35	37.8	4	1	1	0.101309	
	7	5	7	4	5	5.6	0.75	0.75	1	0.001151	
	3	6	10	7	17	8.6	1 1	0.5	1	0.017025	0.119486
1-B	31	28	29	29	46	32.6	4	1	1	0.087373	
	4	2	1	4	6	3.4	0.75	0.75	1	0.000699	
	5	8	8	6	6	6.6	1 1	0.5	1	0.013066	0.101137
3-A	70	75	78	52	63	67.6	5	1	2	0.115295	
	0	4	1	2	3	2	0.75	0.75	2	0.000206	
	0	1	4	6	10	4.2	5	1	2	0.007163	0.122664
3-B	73	50	69	67	69	65.6	5	1	2	0.111884	
	11	10	3	5	1	6	0.75	0.75	2	0.000617	
	7	3	12	9	12	8.6	5	1	2	0.014668	0.127168
7-A	110	91	118	87	105	102.2	4	1	2	0.136955	
	2	6	4	4	7	4.6	0.75	0.75	2	0.000473	
	5	11	9	9	7	8.2	4	1	2	0.010989	0.148417
7-B	37	48	38	42	64	45 8	4	1	2	0.061375	
	1	3	2	1	5	2.4	0.75	0.75	2	0.000247	
	6	5	4	3	3	4.2	4	1	2	0.005628	0.06725
9-A	140	168	171	179	181	167.8	4	1	2	0.224864	
	11	23	32	20	23	21.8	0.5	0.5	2	0.000664	
	12	11	16	3	12	10.8	4	1	2	0.014473	0.240001
9-B	195	157	176	179	177	176.8	4	1	2	0.236925	
	26	40	29	27	36	31.6	0.5	0.5	2	0.000962	
	5	7	20	11	7	10	4	1	2	0.013401	0.251288
Eff. A	61	59	65	69	56	62	4	1	2	0.083084	
	5	3	3	4	4	3.8	0.75	0.75	2	0.000391	
	6	11	5	5	7	6.8	4	1	2	0.009112	0.092588
SA-A	47	52	35	39	50	44.6	4	1	2	0.059767	
	6	5	8	5	3	5.4	0 75	0.75	2	0.000555	
	3	0	1	1	3	1.6	4	1	2	0.002144	0.062466
SA-B	50	50	45	35	46	45.2	4	1	2	0.060571	
	11	2	6	4	4	5.4	0.75	0.75	2	0.000555	
	2	0	3	1	1	1 4	4	1	2	0.001876	0.063002

TABLEAU A5 RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-9											
1-A	44	31	29	43	42	37.8	4	1	1	0.101309	
	3	2	6	3	3	3.4	0.75	0.75	1	0.000699	
	2	2	5	3	7	3.8	4	1	1	0.010185	0.112193
1-B	43	41	33	34	28	35.8	4	1	1	0.095949	
	3	4	3	2	2	2.8	0.75	0.75	1	0.000576	
	1	4	3	5	3	3.2	4	1	1	0.008576	0.105101
3-A	50	40	41	33	37	40.2	4	1	1	0.107742	
	8	5	5	6	4	5.6	0.75	0.75	1	0.001151	
	3	3	3	3	4	3.2	4	1	1	0.008576	0.11747
3-B	30	34	43	38	55	40	4	1	1	0.107206	
	3	4	5	6	3	4.2	0.75	0.75	1	0.000863	
	4	5	8	3	5	5	4	1	1	0.013401	0.12147
7-A	43	40	43	5	53	36.8	4	1	1	0.098629	
	2	6	5	2	6	4.2	0.75	0.75	1	0.000863	
	1	2	1	0	6	2	4	1	1	0.00536	0.104853
7-B	62	55	58	55	43	54.6	4	1	1	0.146336	
	5	5	4	5	8	5.4	0.75	0.75	1	0.00111	
	4	0	1	6	3	2.8	4	1	1	0.007504	0.15495
9-A	148	166	126	169	150	151.8	4	1	2	0.203423	
	33	34	26	24	26	28.6	0.75	0.75	2	0.00294	
	4	4	4	3	3	3.6	4	1	2	0.004824	0.211187
9-B	164	160	180	179	155	167.6	4	1	2	0.224596	
	20	11	21	23	20	19	0.75	0.75	2	0.001953	
	5	11	10	10	6	8.4	4	1	2	0.011257	0.237806
SA-A	40	33	40	49	46	41.6	4	1	2	0.055747	
	2	8	6	4	1	4.2	0.75	0.75	2	0.000432	
	2	2	0	0	3	1.4	4	1	2	0.001876	0.058055
SA-B	82	47	34	34	41	47.6	4	1	2	0.063787	
	6	5	9	11	7	7.6	0.75	0.75	2	0.000781	
	6	1	2	1	0	2	4	1	2	0.00268	0.067249
T-10											
1-B	25	29	15	24	31	24.8	6	1	0.5	0.205445	
	5	5	7	2	3	4.4	1	1	0.5	0.004288	
	6	2	1	2	4	3	8	1	0.5	0.033624	0.243357
3-A	43	36	45	39	32	39	6	1	1	0.16154	
	6	7	8	10	5	7.2	1	1	1	0.003509	
	8	7	9	4	6	6.8	8	1	1	0.036107	0.203155
3-B	25	23	23	27	18	23.2	6	1	0.5	0.192191	
	5	2	2	3	2	2.8	1	1	0.5	0.002729	
	2	2	2	3	2	2.2	8	1	0.5	0.024657	0.219577
7-A	42	31	29	43	44	37.8	4	1	1	0.101309	
	0	3	3	3	2	2.2	1	1	1	0.001072	
	4	2	1	10	12	5.8	5	1	1	0.019784	0.122166
7-B	51	46	55	51	51	50.8	4	1	1	0.136151	
	6	5	5	10	14	8	1	1	1	0.003898	
	5	7	6	7	7	6.4	5	1	1	0.021831	0.161881
9-A	94	36	127	89	94	88	1.5	0.5	1	0.021441	
	16	33	18	17	26	22	0.5	0.5	1	0.00134	
	1	1	1	3	3	1.8	5	1	1	0.00614	0.028921
Eff. B	29	39	27	28	40	32.6	1.5	0.5	1	0.007943	
	2	6	5	2	9	4.8	0.5	0.5	1	0.000292	
	5	0	0	1	5	2.2	5	1	1	0.007504	0.01574

TABLEAU A5: RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-10											
SA-A	35	24	26	26	24	27	1.5	0.5	1	0.006579	
	3	6	6	10	7	6.4	0.5	0.5	1	0.00039	
	0	1	1	1	2	1	5	1	1	0.003411	0.010379
SA-B	16	28	22	10	26	20.4	1.5	0.5	1	0.00497	
	3	2	3	1	7	3.2	0.5	0.5	1	0.000195	
	1	0	0	0	0	0.2	5	1	1	0.000682	0.005848
T-12											
1-B	34	27	15	13	29	23.6	3	1	0.5	0.092002	
	3	6	4	0	2	3	1	1	0.5	0.002924	
	2	3	2	3	6	3.2	4	1	0.5	0.017153	0.112079
3-A	45	34	39	28	35	36.2	3	1	1	0.070561	
	1	5	5	8	2	4.2	1	1	1	0.002047	
	5	2	2	12	0	4.2	4	1	1	0.011257	0.083864
7-A	34	35	37	39	35	36	5	1	1	0.122799	
	5	6	6	8	5	6	1	1	1	0.002924	
	6	8	6	4	1	5	4	1	1	0.013401	0.139124
9-A	83	77	65	80	104	81.8	5	1	0.5	0.558055	
	15	22	20	23	13	18.6	1	1	0.5	0.018128	
	4	6	3	4	3	4	4	1	0.5	0.021441	0.597624
Eff. A	28	33	33	40	23	31.4	1.5	0.5	0.5	0.015301	
	3	5	15	10	14	9.4	1	1	0.5	0.009161	
	0	4	4	1	2	2.2	6	0.5	0.5	0.00469	0.029153
Eff. B	8	4	3	39	30	16.8	1.5	0.5	0.5	0.008187	
	0	6	1	7	1	3	1	1	0.5	0.002924	
	1	1	0	4	3	1.8	6	0.5	0.5	0.003837	0.014948
SA-A	12	10	14	19	22	15.4	3	1	0.5	0.060035	
	3	6	3	2	9	4.6	1	1	0.5	0.004483	
	0	1	0	4	8	2.6	3	1	0.5	0.010136	0.074654
T-14											
1-A	24	30	12	46	38	30	2	0.5	1	0.010051	
	1	1	1	1	2	1.2	0.5	0.5	1	7.31E-05	
	6	6	1	3	6	4.4	4	0.5	1	0.003082	0.013206
3-A	59	49	45	43	53	49.8	4	1	1	0.133471	
	6	2	5	7	8	5.6	1	1	1	0.002729	
	11	8	5	13	2	7.8	4	0.5	1	0.005464	0.141664
7-A	37	39	53	49	52	46	4	1	1	0.123287	
	5	6	5	2	3	4.2	1	1	1	0.002047	
	4	0	1	2	4	2.2	4	0.5	1	0.001541	0.126874
9-A	82	51	88	95	87	80.6	1.5	1	0.5	0.137467	
	20	9	16	14	14	14.6	1	1	0.5	0.014229	
	0	0	0	2	1	0.6	4	0.5	0.5	0.000841	0.152537
Eff. A	2	3	2	2	2	2.2	2	0.5	1	0.000737	
	8	6	7	0	5	5.2	0.5	0.5	1	0.000317	0.001054
SA-A	13	11				12	1.5	1	1	0.010233	
	6	1				3.5	1	1	1	0.001706	
	3	0				1.5	4	0.5	1	0.001051	0.01299

TABLEAU 15 RESULTATS DE L'EPIFLUORESCENCE, FILTRE 5-D, 88/12/07

	bactéries/champ								vol. filtré	biomasse	biom./jour
	#1	#2	#3	#4	#5	moy.	long. bact.	larg. bact.	(mL)	(mg C/L)	(mg C/L)
T-16											
1-A	83	53	83	57	68	68.8	4	0.75	2	0.053039	
	2	1	1	3	3	2	1	1	2	0.000487	
	15	11	12	18	5	12.2	4	0.75	2	0.009405	0.062932
9-A	96	126	90	124	92	105.6	4	0.75	1	0.162819	
	28	26	34	22	42	30.4	1	1	1	0.014814	
	1	0	3	9	4	3.4	4	0.75	1	0.005242	0.182875
Eff. A	40	31	46	35	34	37.2	4	0.75	1	0.057357	
	5	3	2	4	8	4.4	1	1	1	0.002144	
	4	2	5	8	3	4.4	4	0.75	1	0.006784	0.066285
T-28											
1-A	68	68	75	56	42	61.8	5	1	2	0.105403	
	2	1	2	3	0	1.6	1	1	2	0.00039	
	6	3	4	6	1	4	6	1	2	0.008284	0.114077
3-A	36	51	53	57	50	49.4	5	1	2	0.084254	
	10	5	8	3	9	7	1	1	2	0.001706	
	7	8	7	8	8	7.6	6	1	2	0.01574	0.101699
7-A	43	39	43	52	51	45.6	3	1	1	0.088883	
	5	1	8	5	5	4.8	0.5	0.5	1	0.000292	
	5	2	4	4	2	3.4	4	0.5	1	0.002382	0.091557
9-B	268	176	200	176	144	192.8	1	0.5	2	0.01468	
	60	80	52	64	60	63.2	0.5	0.5	2	0.001925	
	20	4	8	4	16	10.4	2	0.5	2	0.001742	0.018347
Eff. A	47	28	37	38	22	34.4	1	0.5	1	0.005238	
	0	2	2	2	5	2.2	0.5	0.5	1	0.000134	
	0	0	2	2	4	1.6	2	0.5	1	0.000536	0.005909
SA-A	20	31	22	25	28	25.2	2	0.5	1	0.008442	
	5	4	1	4	8	4.4	0.5	0.5	1	0.000268	
	2	2	0	2	1	1.4	4	1	1	0.003752	0.012463

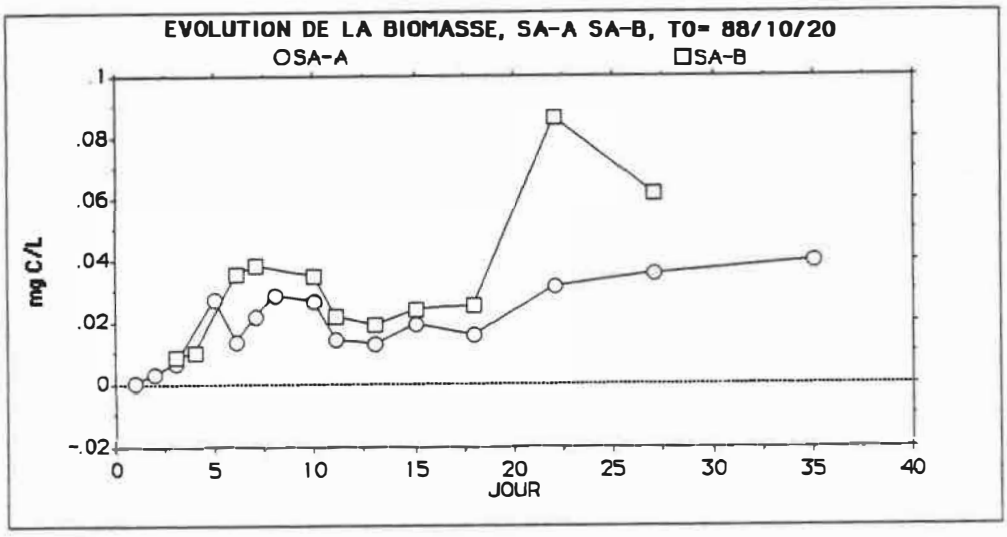


FIGURE A 1 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, SA-A et SA-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

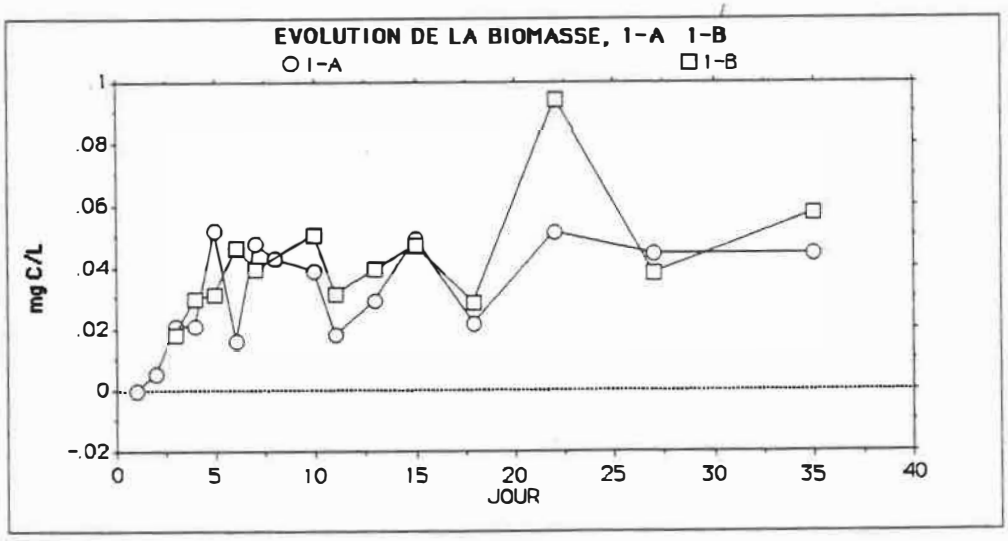


FIGURE A 2 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, AFF-A et AFF-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

A.3

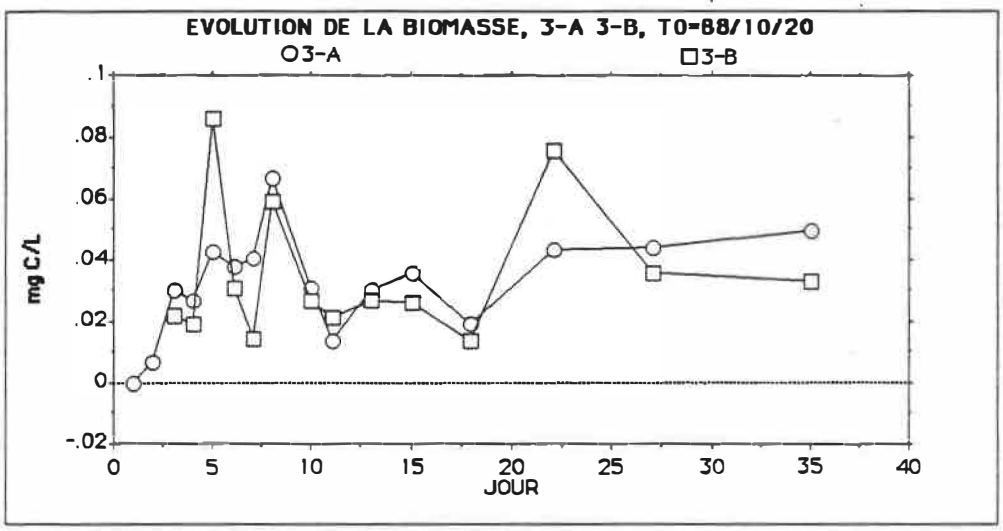


FIGURE A.3 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 15 cm-A et 15 cm-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

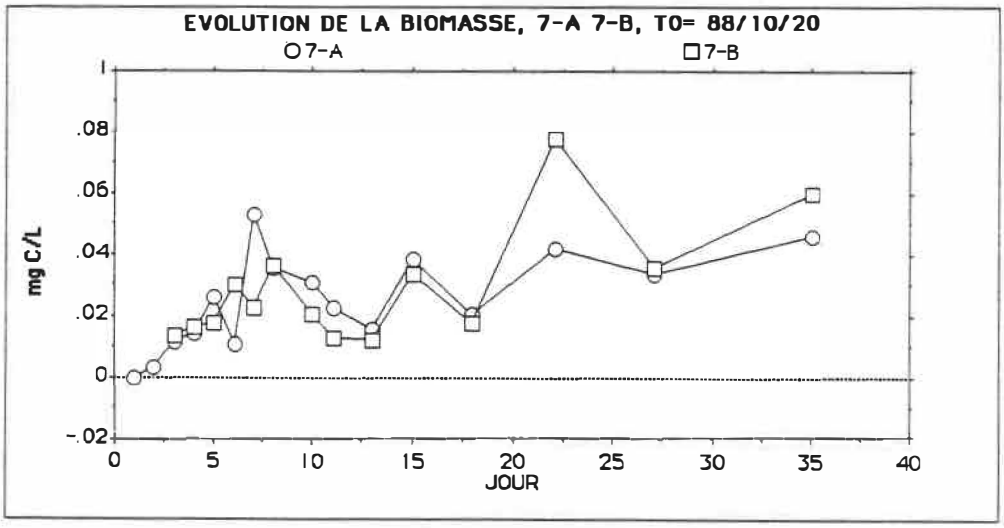


FIGURE A.4 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 80 cm-A et 80cm-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

A.5

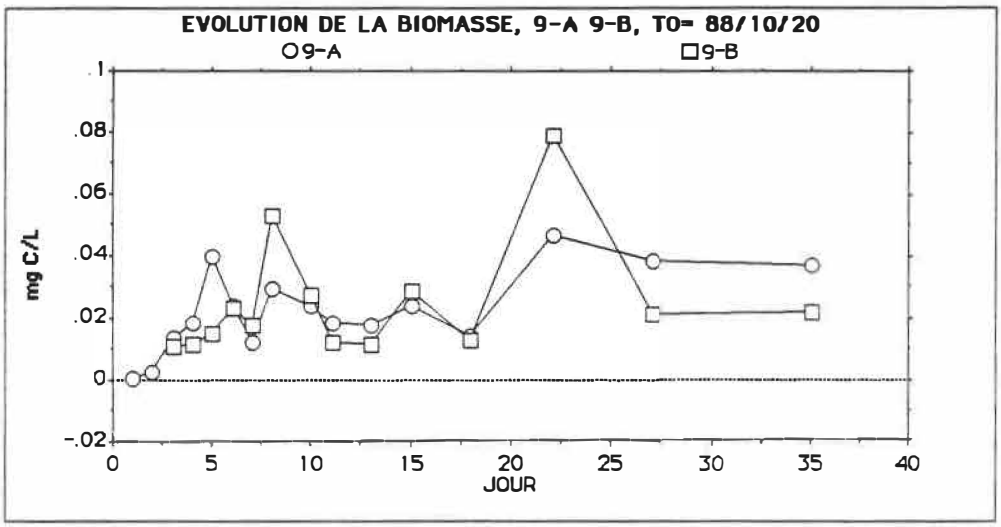


FIGURE A5 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 140 cm-A et 140 cm-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

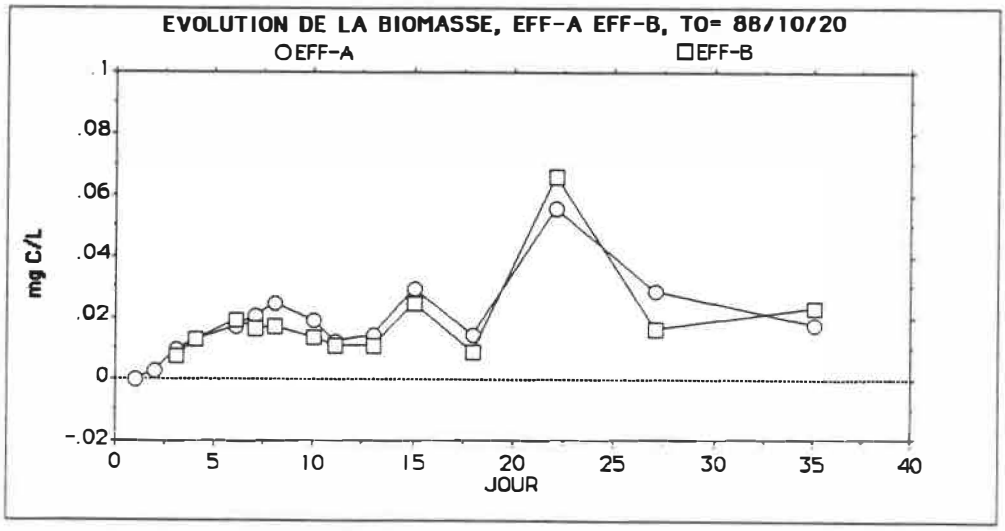


FIGURE A6 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, EFF-A et EFF-B, F 2-G, épifluorescence, 88/10/20

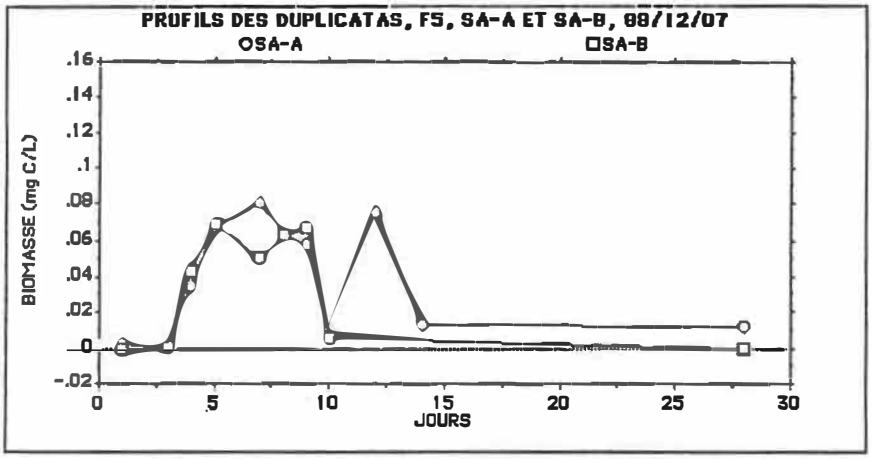


FIGURE A 7 – Evolution de la biomasse lors de l'incubation, SA-A et SA-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

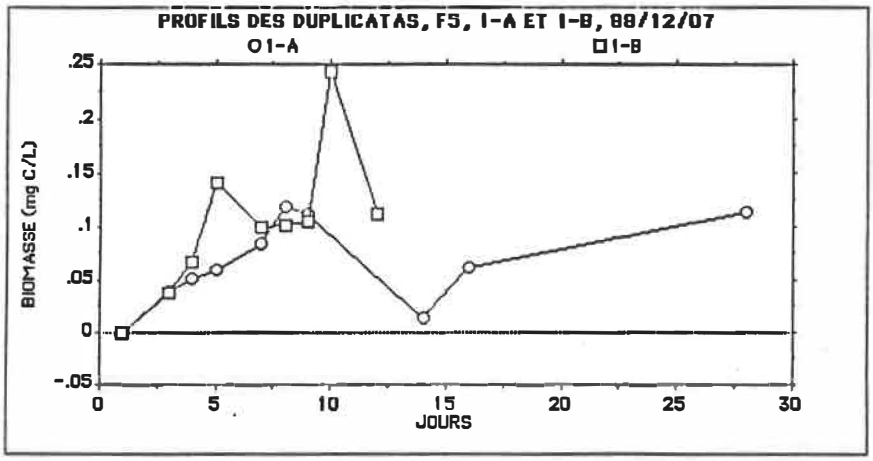


FIGURE A 8 – Evolution de la biomasse lors de l'incubation, AFF-A et AFF-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

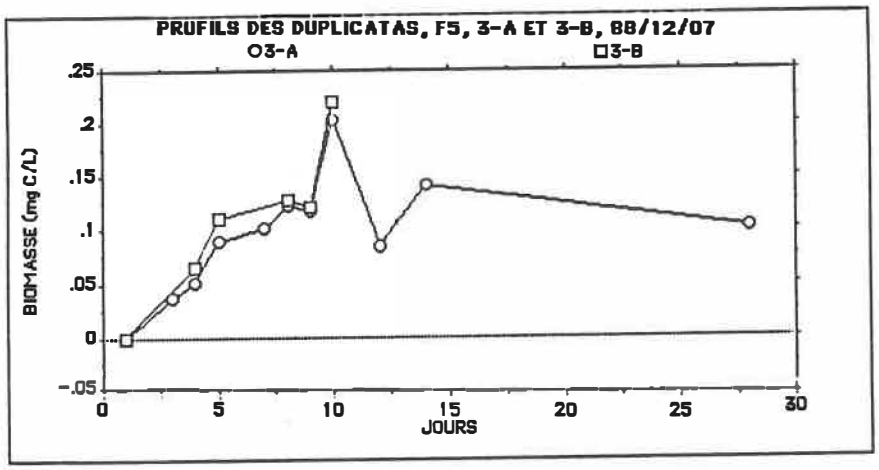


FIGURE A.9 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 15 CM-A et 15 CM-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

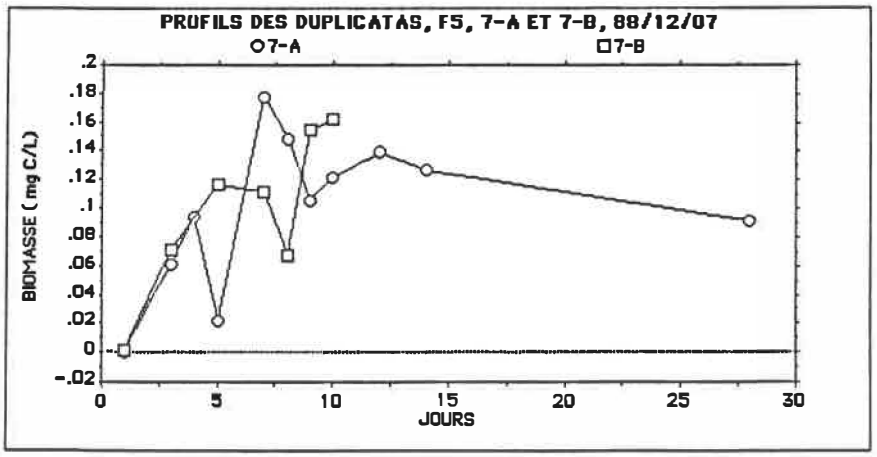


FIGURE A.10 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 80 cm-A et 80Ccm-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

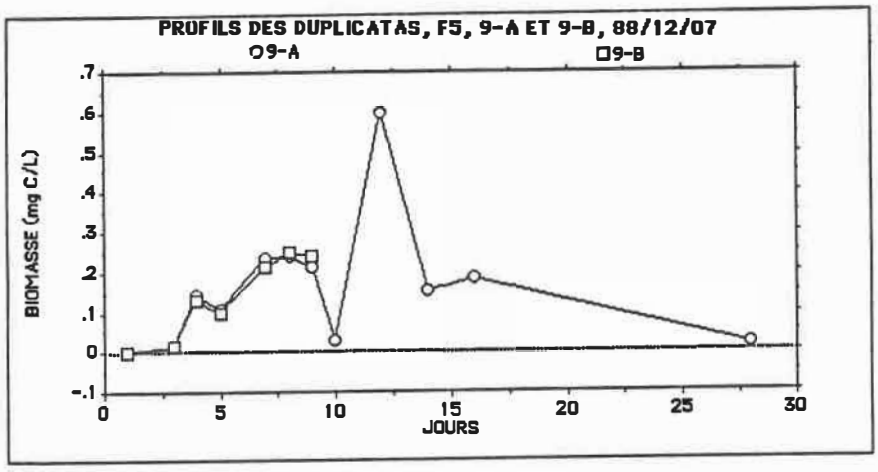


FIGURE A.11 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, 140 cm-A et 140 cm-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

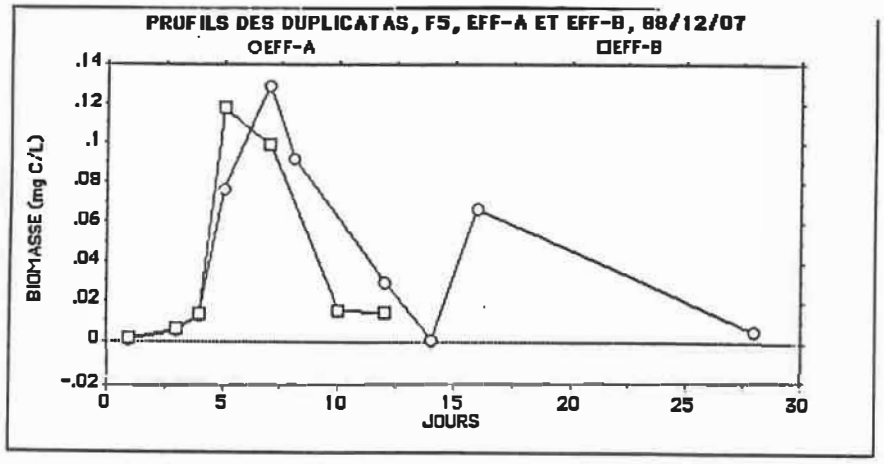


FIGURE A.12 - Evolution de la biomasse lors de l'incubation, EFF-A et EFF-B, F 5-D, épifluorescence, 88/12/12

TABLEAU A.6 - Resultats des denombrements de colonies, methode van der Kooij, F2 G et SA, 88-10-20

f2-g

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL) 1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2
0														
1														
2	5.80E+04	5.80E+04	7.80E+04	6.47E+04	2.70E+04	2.20E+04	2.50E+04	2.47E+04	1.91E+05	2.06E+05	2.23E+05	2.07E+05	2.64E+05	2.60E+05
3	5.50E+05	5.20E+05	7.20E+05	5.97E+05	3.80E+05	5.10E+05	3.80E+05	4.23E+05	6.70E+05	5.30E+05	3.00E+05	5.00E+05	7.80E+05	6.00E+05
4	5.50E+05	5.39E+05	6.82E+05	5.90E+05	4.29E+05	5.06E+02		2.15E+05	6.93E+05	8.80E+05	9.35E+05	8.36E+05	7.26E+05	7.37E+05
5	4.40E+05	3.52E+05	4.62E+05	4.18E+05	5.28E+05	3.96E+05	5.17E+05	4.80E+05	1.01E+06	8.80E+05	6.93E+05	8.61E+05	7.04E+05	7.70E+05
6	7.15E+05	6.49E+05	5.06E+05	6.23E+05	4.84E+05	4.62E+05	4.84E+05	4.77E+05	4.51E+05	3.74E+05	5.06E+05	4.44E+05	8.69E+05	8.58E+05
7					3.30E+05	4.84E+05	7.26E+05	5.13E+05	7.48E+05	7.81E+05		7.65E+05	7.26E+05	9.79E+05
8					1.76E+05	2.20E+05	1.87E+05	1.94E+05	1.02E+06	9.46E+05	1.14E+06	1.04E+06	9.46E+05	7.59E+05
9					2.86E+05	1.21E+05	2.53E+05	2.20E+05	5.83E+05	7.37E+05	6.05E+05	6.42E+05	8.47E+05	1.00E+06
10									7.20E+05	1.02E+06	7.90E+05	8.43E+05	8.70E+05	8.50E+05
11									7.20E+05	7.50E+05	8.10E+05	7.60E+05	7.80E+05	7.10E+05
N MAX (UFC/mL)				6.23E+05				5.13E+05				8.62E+05		
(jour)				5				7				5		

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL) 3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A
0														
1														
2	2.64E+05	2.63E+05	2.61E+05	2.94E+05	2.49E+05	2.68E+05	2.80E+05	3.15E+05	2.78E+05	2.91E+05	3.80E+04	3.90E+04	3.40E+04	3.70E+04
3	7.10E+05	6.97E+05	4.20E+05	3.40E+05	4.40E+05	4.00E+05	2.60E+05	3.90E+05	3.90E+05	3.47E+05	2.13E+05	1.79E+05	2.29E+05	2.07E+05
4	7.37E+05	7.33E+05	5.83E+05	3.85E+05	3.19E+05	4.29E+05	6.82E+05	7.59E+05	6.71E+05	7.04E+05	1.98E+05	1.32E+05	2.53E+05	1.94E+05
5	9.35E+05	8.03E+05	5.72E+05	5.39E+05	5.28E+05	5.46E+05	4.18E+05	7.48E+05	7.48E+05	6.38E+05	2.04E+05	2.28E+05	1.71E+05	2.01E+05
6	7.92E+05	8.40E+05	5.83E+05	4.51E+05	5.06E+05	5.13E+05	5.06E+05	4.07E+05	5.72E+05	4.95E+05	1.96E+05	2.08E+05	3.30E+05	2.45E+05
7	9.02E+05	8.69E+05	9.02E+05	1.08E+06	6.82E+05	8.88E+05					2.13E+05	2.21E+05	1.99E+05	2.11E+05
8	9.24E+05	8.76E+05	8.14E+05	6.27E+05	8.25E+05	7.55E+05					1.86E+05	1.47E+05	1.53E+05	1.62E+05
9	7.70E+05	8.72E+05	5.83E+05	9.02E+05	6.82E+05	7.22E+05					1.54E+05	1.49E+05	1.32E+05	1.45E+05
10	8.30E+05	8.50E+05	8.80E+05	8.50E+05	7.30E+05	8.20E+05								
11	8.80E+05	7.90E+05												
N MAX (UFC/mL)		8.76E+05				8.88E+05				7.04E+05				2.45E+05
(jour)		8				7				4				6

TABLEAU A.6 - Resultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F2-G et SA, 88-10-20

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)											
(jour)	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	Eff.-A-1	Eff.-A-2	Eff.-A-3	Eff.-A	Eff.-B-1	Eff-B-2	Eff.-B-3	Eff-B
0												
1												
2	1.62E+05	1.61E+05	1.80E+05	1.68E+05	4.70E+04	3.50E+04	4.60E+04	4.27E+04	1.69E+05	1.53E+05	1.21E+05	1.48E+05
3	2.52E+05	3.14E+05	2.69E+05	2.78E+05	2.84E+05	3.01E+05	2.17E+05	2.67E+05	2.85E+05	2.74E+05	2.99E+05	2.86E+05
4	6.16E+05	4.40E+05	5.28E+05	5.28E+05	1.76E+05	2.31E+05	1.65E+05	1.91E+05	4.95E+05	5.17E+05	4.51E+05	4.88E+05
5	6.05E+05	4.84E+05	4.73E+05	5.21E+05	3.74E+05	3.30E+05	3.08E+05	3.37E+05	4.73E+05	3.52E+05	3.19E+05	3.81E+05
6	1.34E+05	4.84E+05	3.74E+05	3.31E+05	1.32E+05	1.13E+05	1.21E+05	1.22E+05	4.07E+05	3.30E+05	2.75E+05	3.37E+05
7	5.61E+05	4.62E+05	5.61E+05	5.28E+05	1.10E+05	8.58E+05	1.55E+05	3.74E+05				
8	4.29E+05	5.94E+05	3.08E+05	4.44E+05								
9	5.83E+05	4.84E+05	4.07E+05	4.91E+05								
10	5.30E+05	5.60E+05	5.20E+05	5.37E+05								
11	4.80E+05	2.00E+05	4.80E+05	3.87E+05								
N MAX (UFC/mL)				5.37E+05				3.74E+05				4.88E+05
(jour)				10				7				4

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)							
(jour)	SA-A-1	SA-A-2	SA-A-3	SA-A	SA-B-1	SA-B-2	SA-B-3	SA-B
0								
1								
2	4.90E+04	5.50E+04	6.10E+04	5.50E+04	4.40E+04	3.30E+04	4.60E+04	4.10E+04
3	2.02E+05	2.07E+05	1.80E+05	1.96E+05	2.00E+05	1.95E+05	1.97E+05	1.97E+05
4	1.76E+05	2.09E+05	2.75E+05	2.20E+05	1.65E+05	1.10E+05	1.21E+05	1.32E+05
5	1.75E+05	1.58E+05	2.75E+05	2.03E+05	2.10E+05	1.76E+05	1.87E+05	1.91E+05
6	1.25E+05	1.30E+05	2.75E+05	1.77E+05	1.62E+05	1.41E+05	1.79E+05	1.61E+05
7					1.52E+05	1.51E+05	1.93E+05	1.65E+05
8								
9								
10								
11								
N MAX (UFC/mL)				2.20E+05				1.97E+05
(jour)				4				3

TABLEAU A.7 - Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F2-G , 88-12-12

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-T-A-1	1-T-A-2	1-T-A-3	1-T-A	1-T-B-1	1-T-B-2	1-T-B-3	1-T-B	1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2
0	4.60E+02	4.30E+02		4.45E+02	5.50E+02	4.70E+02		5.10E+02	3.10E+02	5.20E+02		4.15E+02	3.80E+02	4.80E+02
1	6.00E+02	9.00E+02	9.00E+02	8.00E+02					7.00E+02	6.00E+02	4.00E+02	5.67E+02		
2	1.30E+04	1.10E+04	1.90E+04	1.43E+04	2.14E+05	2.10E+05	2.08E+05	2.11E+05	3.90E+04	3.40E+04	4.00E+04	3.77E+04	7.00E+03	6.00E+03
3	4.70E+05	4.70E+05	4.70E+05	4.70E+05	5.70E+05	5.30E+05	5.50E+05	5.50E+05	3.50E+05	4.40E+05	4.40E+05	4.10E+05	3.60E+05	3.20E+05
4	3.40E+05	3.00E+05	4.50E+05	3.63E+05	5.50E+05	3.30E+05	4.80E+05	4.53E+05	2.60E+05	2.30E+05	2.40E+05	2.43E+05	3.30E+05	3.10E+05
5	4.50E+05	3.00E+05	3.30E+05	3.60E+05	2.30E+05	2.20E+05	3.50E+05	2.67E+05	4.30E+05	4.40E+05	3.40E+05	4.03E+05	5.70E+05	4.40E+05
6	6.80E+05	7.20E+05	5.60E+05	6.53E+05	4.60E+05	4.60E+05	4.50E+05	4.57E+05	3.10E+05	4.10E+05	4.00E+05	3.73E+05	2.00E+05	2.30E+05
7									4.90E+05	3.10E+05	3.60E+05	3.87E+05	3.50E+05	4.90E+05
8									4.10E+05	3.00E+05	3.50E+05	3.53E+05	5.90E+05	5.20E+05
9									4.80E+05	4.20E+05	4.60E+05	4.53E+05		
10														
N MAX. (TEMPS)				3				3				3		
(UFC/ML)				4.70E+05				5.50E+05				4.10E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)														
(jour)	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2	3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A
0		4.30E+02	3.40E+02	3.70E+02		3.55E+02	4.10E+02	4.80E+02		4.45E+02	4.10E+02	4.50E+02		4.30E+02
1			4.00E+02	3.00E+02	5.00E+02	4.00E+02					9.00E+02	7.00E+02	9.00E+02	8.33E+02
2	5.00E+03	6.00E+03	5.00E+03	3.00E+03	3.00E+03	3.67E+03	7.40E+04	9.10E+04	9.20E+04	8.57E+04	8.00E+03	7.00E+03	9.00E+03	8.00E+03
3	2.70E+05	3.17E+05	2.90E+05	2.90E+05	3.10E+05	2.97E+05	6.60E+05	4.30E+05	6.30E+05	5.73E+05	1.43E+05	1.35E+05	1.12E+05	1.30E+05
4	1.90E+05	2.77E+05	3.20E+05	3.30E+05	2.20E+05	2.90E+05	6.40E+05	5.60E+05	5.70E+05	5.90E+05	1.33E+05	1.56E+05	1.43E+05	1.44E+05
5	4.90E+05	5.00E+05	4.20E+05	3.10E+05	2.50E+05	3.27E+05	7.40E+05	4.90E+05	6.70E+05	6.33E+05	1.79E+05	1.87E+05	2.19E+05	1.95E+05
6	3.00E+05	2.43E+05	2.60E+05	3.10E+05	3.10E+05	2.93E+05	6.00E+05	6.30E+05	5.40E+05	5.90E+05	1.62E+05	1.67E+05	1.62E+05	1.64E+05
7	4.00E+05	4.13E+05	2.30E+05	2.60E+05	2.30E+05	2.40E+05	6.40E+05	7.00E+05	8.70E+05	7.37E+05	1.17E+05	1.47E+05	1.42E+05	1.35E+05
8	4.50E+05	5.20E+05	5.80E+05	3.90E+05	3.20E+05	4.30E+05	8.50E+05	7.80E+05	9.70E+05	8.67E+05	1.75E+05	1.90E+05	2.00E+05	1.88E+05
9														
10							5.40E+05	9.10E+05	6.90E+05	7.13E+05				
N MAX. (TEMPS)		5				5				8				5
(UFC/ML)		500000				330000				870000				200000

TABLEAU A.7 - Resultats des dénombrements de colonies, methode van der Kooij, F2-G, 88-12-12

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	Eff-A-1	Eff-A-2
0	4.60E+02	4.20E+02		4.40E+02	3.80E+02	3.70E+02		3.75E+02	3.90E+02	4.10E+02		4.00E+02	4.50E+02	3.40E+02
1					7.00E+02	5.00E+02	4.00E+02	5.33E+02					1.40E+03	6.00E+02
2	4.60E+04	4.70E+04		4.65E+04	1.00E+03	1.00E+03	5.00E+03	2.33E+03	3.90E+04	3.00E+04	5.40E+04	4.10E+04	4.80E+05	3.80E+05
3	1.51E+05	2.07E+05	1.85E+05	1.81E+05	7.30E+04	7.20E+04	7.80E+04	7.43E+04	3.20E+05	3.30E+05	3.20E+05	3.23E+05	2.50E+05	1.60E+05
4	2.16E+05	2.23E+05	2.07E+05	2.15E+05	1.05E+05	9.80E+04	9.80E+04	1.00E+05	2.25E+05	2.33E+05	1.88E+05	2.15E+05	1.90E+05	1.50E+05
5	2.35E+05	2.07E+05	2.22E+05	2.21E+05	1.40E+05	1.59E+05	1.05E+05	1.35E+05	2.80E+05	2.80E+05	2.80E+05	2.80E+05	3.60E+05	2.90E+05
6	1.81E+05	2.29E+05	2.33E+05	2.14E+05	1.25E+05	8.80E+04	1.05E+05	1.06E+05	4.20E+05	4.50E+05	4.00E+05	4.23E+05	2.10E+05	2.90E+05
7	2.20E+05	2.04E+05	2.04E+05	2.09E+05	1.13E+05	1.30E+05	1.43E+05	1.29E+05	5.20E+05	3.50E+05	4.30E+05	4.33E+05	2.11E+05	2.26E+05
8	2.43E+05	2.14E+05	2.43E+05	2.33E+05	2.09E+05	1.73E+05	2.14E+05	1.99E+05	4.50E+05	3.20E+05	4.50E+05	4.07E+05	4.10E+05	3.30E+05
9					2.20E+05	1.62E+05	1.23E+05	1.68E+05	3.00E+05	4.80E+05	4.10E+05	3.97E+05		
10					1.80E+05	2.00E+05		1.90E+05						
N MAX. (TEMPS)				5				5				3		
(UFC/Ml)				2.20E+05				1.40E+05				3.20E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)					
(jour)	Eff-A-3	Eff-A	Eff-B-1	Eff-B-2	Eff-B-3	Eff-B
0		3.95E+02	4.10E+02	3.60E+02		3.85E+02
1	9.00E+02	9.67E+02				
2	3.30E+05	3.97E+05	3.90E+04	4.30E+04	3.50E+04	3.90E+04
3	2.10E+05	2.07E+05	1.17E+05	1.20E+05	1.16E+05	1.18E+05
4	1.60E+05	1.67E+05	1.38E+05	1.55E+05	1.31E+05	1.41E+05
5	2.40E+05	2.97E+05	1.76E+05	1.65E+05	1.77E+05	1.73E+05
6	3.50E+05	2.83E+05	1.89E+05	2.16E+05	1.87E+05	1.97E+05
7	2.16E+05	2.18E+05	1.71E+05	1.91E+05	2.61E+05	2.08E+05
8	4.20E+05	3.87E+05	3.80E+05	3.30E+05	3.20E+05	3.43E+05
9			2.70E+05	2.50E+05	2.30E+05	2.50E+05
10			2.80E+05	2.30E+05	3.60E+05	2.90E+05
N MAX. (TEMPS)		2				8
(UFC/Ml)		400000				340000

TABLEAU A.8 - Resultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D , 88-12-12

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-T-A-1	1-T-A-2	1-T-A-3	1-T-A	1-T-B-1	1-T-B-2	1-T-B-3	1-T-B	1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2
0	3.80E+02	2.30E+02		3.05E+02	3.70E+02	3.10E+02		3.40E+02	3.30E+02	5.40E+02		4.35E+02	4.70E+02	4.00E+02
1	1.00E+02	6.00E+02	2.00E+02	3.00E+02					1.00E+03	8.00E+02	8.00E+02	8.67E+02		
2	3.10E+05	4.20E+05	3.00E+05	3.43E+05	6.50E+04	5.00E+04	5.90E+04	5.80E+04	1.60E+04	1.40E+04	1.30E+04	1.43E+04	5.00E+03	9.00E+03
3	5.40E+05	5.90E+05	3.90E+05	5.07E+05	4.10E+05	2.70E+05	3.80E+05	3.53E+05	2.70E+05	2.70E+05	2.60E+05	2.67E+05	1.88E+05	2.27E+05
4	5.00E+05	cont	4.70E+05	4.85E+05	3.10E+05	4.90E+05	4.20E+05	4.07E+05	3.80E+05	4.10E+05	3.80E+05	3.90E+05	2.30E+05	2.50E+05
5	5.10E+05	4.30E+05	4.60E+05	4.67E+05	2.60E+05	3.30E+05	2.70E+05	2.87E+05	4.80E+05	5.70E+05	4.50E+05	5.00E+05	2.88E+05	2.30E+05
6	5.30E+05	5.00E+05	4.40E+05	4.90E+05	4.50E+05	4.00E+05	4.80E+05	4.43E+05	8.30E+05	8.80E+05	8.40E+05	8.50E+05	1.80E+05	1.89E+05
7	4.90E+05	6.30E+05	5.50E+05	5.57E+05	3.00E+05	4.60E+05	4.40E+05	4.00E+05	5.30E+05	5.80E+05	6.30E+05	5.80E+05	3.60E+05	4.70E+05
8	4.30E+05	5.50E+05	5.20E+05	5.00E+05	5.20E+05	5.50E+05	6.80E+05	5.83E+05	6.90E+05	6.30E+05	6.90E+05	6.70E+05	6.40E+05	7.10E+05
9	5.70E+05	4.50E+05	5.60E+05	5.27E+05	3.40E+05	4.00E+05	3.20E+05	3.53E+05	6.40E+05	8.20E+05	6.70E+05	7.10E+05	5.10E+05	3.80E+05
10					5.80E+05	4.60E+05	3.70E+05	4.70E+05					5.00E+05	3.30E+05
N MAX. (jour)				3				8				6		
(UFC/Ml)				5.10E+05				5.80E+05				8.50E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2	3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A
0		4.35E+02	2.90E+02	2.50E+02		2.70E+02	3.10E+02	2.70E+02		2.90E+02	3.60E+02	3.70E+02		3.65E+02
1			1.30E+03	1.50E+03	1.40E+03	1.40E+03					1.20E+03	5.00E+02	3.00E+02	6.67E+02
2	9.00E+03	7.67E+03	5.30E+05	7.00E+05	6.90E+05	6.40E+05	3.50E+05	3.00E+05	3.50E+05	3.33E+05	1.36E+05	1.46E+05	1.35E+05	1.39E+05
3	2.03E+05	2.06E+05	9.30E+05	6.10E+05	1.14E+06	8.93E+05	5.90E+05	4.30E+05	5.80E+05	5.33E+05	4.30E+05	4.20E+05	4.00E+05	4.17E+05
4	2.80E+05	2.53E+05	8.40E+05	8.90E+05	1.21E+06	9.80E+05	6.30E+05	7.70E+05	8.60E+05	7.53E+05	4.40E+05	4.40E+05	3.30E+05	4.03E+05
5	2.37E+05	2.52E+05	6.50E+05	7.20E+05	9.70E+05	7.80E+05	7.10E+05	8.10E+05	7.20E+05	7.47E+05	3.40E+05	4.70E+05	5.50E+05	4.53E+05
6	1.56E+05	1.75E+05	7.10E+05	9.50E+05	7.70E+05	8.10E+05	6.80E+05	5.30E+05	5.90E+05	6.00E+05	5.80E+05	4.90E+05	5.60E+05	5.43E+05
7	4.70E+05	4.33E+05	6.30E+05	8.30E+05	7.20E+05	7.27E+05	7.00E+05	7.00E+05	7.20E+05	7.07E+05	4.80E+05	4.20E+05	4.30E+05	4.43E+05
8	5.60E+05	6.37E+05	1.14E+06	9.50E+05	7.80E+05	9.57E+05	8.10E+05	7.80E+05	9.80E+05	8.57E+05	4.50E+05	6.00E+05	5.00E+05	5.17E+05
9	5.50E+05	4.80E+05	7.90E+05	7.20E+05	6.10E+05	7.07E+05					4.50E+05	5.30E+05	5.00E+05	4.93E+05
10	4.20E+05	4.17E+05	5.30E+05	6.50E+05	8.10E+05	6.63E+05								
N MAX. (jour)		8				4				4				6
(UFC/Ml)		640000				980000				750000				540000

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas étalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.8 - Résultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D , 88-12-12

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	Eff-A-1	Eff-A-2
0	4.20E+02	6.00E+02		5.10E+02	2.00E+02	2.80E+02		2.40E+02	2.20E+02	3.00E+02		2.60E+02	4.20E+02	2.40E+02
1					7.00E+02	5.00E+02	3.00E+02	5.00E+02					2.60E+03	3.00E+03
2	1.71E+05	1.88E+05	1.83E+05	1.81E+05	1.79E+05	1.72E+05	1.74E+05	1.75E+05	5.20E+04	4.40E+04	3.70E+04	4.43E+04	1.35E+05	1.34E+05
3	3.80E+05	3.40E+05	3.90E+05	3.70E+05	4.70E+05	3.00E+05	2.90E+05	3.53E+05	3.20E+05	4.10E+05	4.00E+05	3.77E+05	1.60E+06	1.47E+06
4	3.80E+05	4.20E+05	4.90E+05	4.30E+05	4.00E+05	6.40E+05	5.80E+05	5.40E+05	2.16E+05	1.94E+05	2.08E+05	2.06E+05	2.02E+06	1.95E+06
5	4.90E+05	3.80E+05	4.60E+05	4.43E+05	5.70E+05	5.40E+05	5.00E+05	5.37E+05	2.70E+05	2.70E+05	2.40E+05	2.60E+05	1.65E+06	1.60E+06
6	4.60E+05	3.10E+05	2.90E+05	3.53E+05	7.20E+05	6.20E+05	6.70E+05	6.70E+05	2.50E+05	1.80E+05	2.70E+05	2.33E+05	1.60E+06	1.52E+06
7	3.80E+05	4.00E+05	5.70E+05	4.50E+05	4.60E+05	5.30E+05	6.70E+05	5.53E+05					1.69E+06	1.49E+06
8	3.50E+05	3.80E+05	3.70E+05	3.67E+05	4.90E+05	6.50E+05	6.20E+05	5.87E+05						
9	3.10E+05	3.60E+05	5.10E+05	3.93E+05	6.00E+05	5.10E+05	5.30E+05	5.47E+05						
10														
N MAX. (jour)				7				6				3		
(UFC/Ml)				4.50E+05				6.70E+05				3.80E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)					
(jour)	Eff-A-3	Eff-A	Eff-B-1	Eff-B-2	Eff-B-3	Eff-B
0		3.30E+02	3.30E+02	2.70E+02		3.00E+02
1	2.10E+03	2.57E+03				
2	1.40E+05	1.36E+05	6.90E+04	6.80E+04	5.80E+04	6.50E+04
3	1.32E+06	1.46E+06	2.03E+05	1.89E+05		1.96E+05
4	2.00E+06	1.99E+06	1.72E+05	2.01E+05	déchiré	1.87E+05
5	1.58E+06	1.61E+06	1.94E+05	1.74E+05	1.59E+05	1.76E+05
6	1.64E+06	1.59E+06	2.50E+05	3.30E+05	2.40E+05	2.73E+05
7		1.59E+06	2.58E+05	2.53E+05	2.62E+05	2.58E+05
8			2.57E+05	2.30E+05	2.35E+05	2.41E+05
9			2.90E+05	2.90E+05	2.60E+05	2.80E+05
10						
N MAX. (jour)		4				6
(UFC/Ml)		2000000				270000

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas étalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.9 - Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, SA , 88-12-12

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)							
(jour)	SA-A-1	SA-A-2	SA-A-3	SA-A	SA-B-1	SA-B-2	SA-B-3	SA-B
0	3.90E+02	4.00E+02		3.95E+02		3.90E+02		3.90E+02
1	2.00E+02	0.00E+00	0.00E+00	6.67E+01				
2	1.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	3.33E+02	3.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+03
3	1.70E+04	9.00E+03	1.70E+04	1.43E+04	1.20E+04	5.00E+03	1.00E+04	9.00E+03
4	1.00E+05	1.20E+05	1.30E+05	1.17E+05	1.92E+04	1.80E+04	2.20E+04	1.97E+04
5	1.19E+05	1.10E+05	1.01E+05	1.10E+05	2.90E+04	3.20E+04	2.90E+04	3.00E+04
6	1.90E+05	1.90E+05	2.30E+05	2.03E+05	3.00E+04	4.00E+04	4.00E+04	3.67E+04
7	1.29E+05	2.23E+05	1.25E+05	1.59E+05	5.90E+04	4.90E+04	6.10E+04	5.63E+04
8	1.74E+05	1.69E+05	1.59E+05	1.67E+05	9.00E+04	7.50E+04	8.50E+04	8.33E+04
9	1.89E+05	2.04E+05	2.06E+05	2.00E+05	9.90E+04	1.07E+05	7.40E+04	9.33E+04
10					1.00E+05	7.00E+04	5.00E+04	7.33E+04
N MAX. (jour)				6				9
(UFC/ml)				2.00E+05				9.30E+04

TABLEAU A.10 - Resultats des dénombrements de colonies, methode van der Kooij, F 2 G , 89-01-17

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL) 1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2
0	4.60E+02	4.50E+02		4.55E+02	6.90E+02	4.60E+02		5.75E+02	7.40E+02	4.20E+02		5.80E+02	5.40E+02	4.30E+02
1	8.00E+02	8.00E+02	5.00E+02	7.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	5.00E+02	7.00E+02	3.00E+02	6.00E+02	5.00E+02	4.67E+02	6.00E+02	5.00E+02
2	7.60E+04	5.90E+04	8.90E+04	7.47E+04	2.40E+04	2.00E+04	1.80E+04	2.07E+04	9.70E+04	7.30E+04	8.20E+04	8.40E+04	7.10E+04	9.10E+04
3	2.36E+05	1.95E+05	2.15E+05	2.15E+05	4.10E+05	4.50E+05	3.80E+05	4.13E+05	4.00E+05	3.60E+05	4.20E+05	3.93E+05	3.80E+05	2.30E+05
4	4.20E+05	3.90E+05	3.80E+05	3.97E+05	3.80E+05	5.10E+05	4.80E+05	4.57E+05	4.50E+05	5.20E+05	5.60E+05	5.10E+05	3.80E+05	6.20E+05
5	3.30E+05	3.20E+05	4.10E+05	3.53E+05	1.70E+05	2.40E+05	2.20E+05	2.10E+05	4.50E+05	5.90E+05	7.20E+05	5.87E+05	1.60E+05	1.10E+05
6	4.70E+05	6.30E+05	7.50E+05	6.17E+05	9.20E+05	6.60E+05	3.80E+05	6.53E+05	2.70E+05	2.90E+05	4.00E+05	3.20E+05	3.60E+05	3.10E+05
7	2.05E+05	2.13E+05	2.02E+05	2.07E+05	3.09E+05	2.56E+05	2.76E+05	2.80E+05	6.70E+05	3.10E+05	4.40E+05	4.73E+05	4.41E+05	4.49E+05
8	2.63E+05	1.40E+05	2.39E+05	2.14E+05	1.62E+05	1.72E+05	1.31E+05	1.55E+05						
9					2.60E+05	2.30E+05	4.90E+05	3.27E+05						
10														
11														
12														
N MAX (JRS)				6				6				5		
UFC/mL				6.17E+05				6.53E+05				5.87E+05		

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL) 3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A
0.00E+00		4.85E+02	8.50E+02	7.00E+02		7.75E+02	4.70E+02	8.00E+02		6.35E+02	4.40E+02	4.10E+02		4.25E+02
1.00E+00	5.00E+02	5.33E+02	6.00E+02	1.00E+03	6.00E+02	7.33E+02	9.00E+02	3.00E+02	5.00E+02	5.67E+02	9.00E+02	7.00E+02	5.00E+02	7.00E+02
2.00E+00	9.80E+04	8.67E+04	2.80E+05	3.00E+05	3.20E+05	3.00E+05	3.40E+04	3.80E+04	2.90E+04	3.37E+04	4.80E+04	3.30E+04	3.00E+04	3.70E+04
3.00E+00	3.80E+05	3.30E+05	6.10E+05	5.00E+05	5.90E+05	5.67E+05	7.40E+05	6.30E+05	8.60E+05	7.43E+05	8.40E+04	1.01E+05	1.89E+05	1.25E+05
4.00E+00	4.10E+05	4.70E+05	4.20E+05	3.20E+05	2.20E+05	3.20E+05	4.70E+05	1.05E+06	7.00E+05	7.40E+05	1.52E+05	1.46E+05	1.46E+05	1.48E+05
5.00E+00	1.30E+05	1.33E+05	3.80E+05	2.70E+05	2.50E+05	3.00E+05	9.80E+05	8.50E+05	7.60E+05	8.63E+05	2.10E+05	2.50E+05	2.30E+05	2.30E+05
6.00E+00	4.40E+05	3.70E+05	3.50E+05	3.50E+05	2.80E+05	3.27E+05	5.70E+05	4.20E+05	7.40E+05	5.77E+05	3.30E+05	3.10E+05	3.50E+05	3.30E+05
7.00E+00	4.84E+05	4.58E+05	3.26E+05	3.19E+05	3.82E+05	3.42E+05	1.11E+06	8.30E+05	8.00E+05	9.13E+05	3.12E+05	3.45E+05	3.81E+05	3.46E+05
8.00E+00							4.38E+05	4.23E+05	5.52E+05	4.71E+05	2.04E+05	2.19E+05	2.28E+05	2.17E+05
9.00E+00							5.30E+05	5.40E+05	5.60E+05	5.43E+05	4.40E+05	5.80E+05	5.20E+05	5.13E+05
1.00E+01							7.60E+05	7.00E+05	8.90E+05	7.83E+05	1.70E+05	1.40E+05	2.10E+05	1.73E+05
1.10E+01											2.70E+05	1.60E+05	2.60E+05	2.30E+05
1.20E+01											2.20E+05	1.90E+05	2.10E+05	2.07E+05
N MAX (JRS)		4				3				7				9
UFC/mL		4.70E+05				5.67E+05				9.13E+05				5.13E+05

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas etalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.10 - Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 2-G , 89-01-17

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)											
(jour)	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	Eff.-A-1	Eff.-A-2	Eff.-A-3	Eff.-A	Eff.-B-1	Eff.-B-2	Eff.-B-3	Eff.-B
0.00E+00	4.70E+02	5.80E+02		5.25E+02	7.40E+02	5.80E+02		6.60E+02	8.10E+02	5.20E+02		6.65E+02
1.00E+00	6.00E+02	7.00E+02	1.00E+03	7.67E+02	6.00E+02	8.00E+02	1.70E+03	1.03E+03	1.40E+03	2.00E+02	9.00E+02	8.33E+02
2.00E+00	3.20E+04	6.30E+04	4.80E+04	4.77E+04	9.60E+04	1.10E+05	9.30E+04	9.97E+04	4.70E+04	6.80E+04	6.30E+04	5.93E+04
3.00E+00	1.99E+05	2.22E+05	2.41E+05	2.21E+05	1.44E+05	1.59E+05	6.40E+04	1.22E+05	1.04E+05	1.08E+05	1.15E+05	1.09E+05
4.00E+00	1.90E+05	2.70E+05	3.80E+05	2.80E+05	1.34E+05	1.35E+05	1.51E+05	1.40E+05	1.28E+05	9.80E+04	9.90E+04	1.08E+05
5.00E+00	4.70E+05	4.30E+05	6.50E+05	5.17E+05	4.40E+05	2.20E+05	2.10E+05	2.90E+05	1.80E+05	1.60E+05	2.90E+05	2.10E+05
6.00E+00	2.60E+05	1.70E+05	2.40E+05	2.23E+05	3.30E+05	2.40E+05	2.50E+05	2.73E+05	1.16E+05	1.16E+05	1.45E+05	1.26E+05
7.00E+00	3.36E+05	4.04E+05	3.37E+05	3.59E+05	2.05E+05	1.74E+05	1.70E+05	1.83E+05	1.02E+05	7.60E+04	1.17E+05	9.83E+04
8.00E+00					3.10E+05	3.17E+05	4.03E+05	3.43E+05	1.43E+05	1.19E+05	1.85E+05	1.49E+05
9.00E+00												
1.00E+01												
1.10E+01												
1.20E+01												
N MAX (JRS)				5				5				5
UFC/mL				5.17E+05				2.90E+05				2.10E+05

1=affluent, 3=15 cm, 7= 80 cm, 9=140 cm A-1, A-2, A-3= Triplicatas etales 1-A, 1-B =duplicatas bouteilles

TABLEAU A.II - Résultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D, 89-01-17

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2
0	4.60E+02	4.10E+02		4.35E+02	4.10E+02	5.90E+02		5.00E+02	5.10E+02	1.55E+03		1.03E+03	6.60E+02	3.20E+02
1	5.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	7.00E+02	7.00E+02	2.00E+02	2.00E+02	3.67E+02	5.00E+02	5.00E+02	6.00E+02	5.33E+02	1.00E+03	6.00E+02
2	4.00E+04	2.90E+04	3.50E+04	3.47E+04	1.04E+05	1.18E+05	1.11E+05	1.11E+05	5.80E+04	5.00E+04	5.70E+04	5.50E+04	2.04E+05	2.11E+05
3	2.10E+05	3.50E+05	2.60E+05	2.73E+05	4.80E+05	2.50E+05	4.40E+05	3.90E+05	3.40E+05	3.50E+05	2.70E+05	3.20E+05	5.90E+05	7.90E+05
4	3.20E+05	2.60E+05	3.00E+05	2.93E+05	2.50E+05	2.40E+05	1.70E+05	2.20E+05	1.55E+05	1.39E+05	1.40E+05	1.45E+05	4.30E+04	4.60E+04
5	4.10E+05	1.90E+05	2.80E+05	2.93E+05	1.70E+05	2.30E+05	1.50E+05	1.83E+05	2.10E+05	2.20E+05	1.60E+05	1.97E+05	4.70E+05	2.80E+05
6	1.61E+05	2.38E+05	1.61E+05	1.87E+05	2.80E+05	2.10E+05	2.60E+05	2.50E+05	1.51E+05	1.84E+05	1.77E+05	1.71E+05	9.90E+05	7.70E+05
7	1.79E+05	1.71E+05	1.65E+05	1.72E+05	2.11E+05	2.30E+05	2.09E+05	2.17E+05	2.37E+05	2.15E+05	2.65E+05	2.39E+05	4.51E+05	5.09E+05
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
N MAX(JRS)				5				3				3		
UFC/mL				2.93E+05				3.90E+05				3.20E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A
0		4.90E+02	4.80E+02	9.60E+02		7.20E+02	6.00E+02	8.50E+02		7.25E+02	6.60E+02	8.90E+02		7.75E+02
1	4.00E+02	6.67E+02	1.00E+03	5.00E+02	1.50E+03	1.00E+03	6.00E+02	4.00E+02	5.00E+02	5.00E+02	1.30E+03	1.10E+03	5.00E+02	9.67E+02
2	2.41E+05	2.19E+05	8.00E+03	9.00E+03	1.10E+04	9.33E+03	2.40E+04	3.40E+04	2.50E+04	2.77E+04	9.50E+04	9.40E+04	1.04E+05	9.77E+04
3	9.70E+05	7.83E+05	1.56E+05	1.56E+05	1.32E+05	1.48E+05	2.10E+05	2.10E+05	5.90E+05	3.37E+05	3.70E+05	4.60E+05	2.30E+05	3.53E+05
4	3.70E+04	4.20E+04	1.83E+05	9.10E+04	2.47E+05	1.74E+05	1.23E+05	1.34E+05	1.51E+05	1.36E+05	1.94E+05	1.85E+05	1.77E+05	1.85E+05
5	4.40E+05	3.97E+05	1.40E+05	2.30E+05	2.10E+05	1.93E+05	2.10E+05	1.10E+05	2.50E+05	1.90E+05	3.00E+05	3.30E+05	2.50E+05	2.93E+05
6	7.50E+05	8.37E+05	1.80E+05	1.80E+05	1.80E+05	1.80E+05	2.00E+05	2.03E+05	2.25E+05	2.09E+05	5.70E+05	3.40E+05	3.60E+05	4.23E+05
7	4.06E+05	4.55E+05	2.06E+05	2.46E+05	1.91E+05	2.14E+05	1.19E+05	1.05E+05	1.16E+05	1.13E+05	5.91E+05	5.49E+05	6.22E+05	5.87E+05
8			1.53E+05	1.65E+05	1.57E+05	1.58E+05								
9			2.36E+05	2.55E+05	2.61E+05	2.51E+05								
10			2.83E+05	2.71E+05	3.47E+05	3.00E+05								
11			1.78E+05	1.53E+05	1.55E+05	1.62E+05								
12			2.78E+05	2.58E+05	2.60E+05	2.65E+05								
13														
14														
N MAX(JRS)		3				10				3				3
UFC/mL		783333.3				300333.3				336666.7				353333.3

1-affluent, 3-15 cm, 7-80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3= Triplicatas étalés 1-A, 1-B =duplicatas bouteilles

TABLEAU A.II - Resultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D , 89-01-17

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)											
(jour)	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	Eff.-A-1	Eff.-A-2	Eff.-A-3	Eff-A	Eff-B-1	Eff-B-2	Eff-B-3	Eff.-B
0	9.80E+02	7.30E+02		8.55E+02	5.40E+02	6.10E+02		5.75E+02	5.40E+02	4.00E+02		4.70E+02
1	4.00E+02	5.00E+02	6.00E+02	5.00E+02	8.00E+02	6.00E+02	1.10E+03	8.33E+02	6.00E+02	7.00E+02	6.00E+02	6.33E+02
2	2.60E+04	2.40E+04	3.70E+04	2.90E+04	8.40E+04	6.70E+04	4.80E+04	6.63E+04	7.00E+03	2.00E+03	4.00E+03	4.33E+03
3	3.00E+05	1.80E+05	1.90E+05	2.23E+05	1.72E+05	1.90E+05	1.95E+05	1.86E+05	6.80E+04	6.50E+04	6.30E+04	7.20E+04
4	2.31E+05	1.85E+05	2.10E+05	2.09E+05	2.09E+05	1.99E+05	2.10E+05	2.06E+05	8.80E+04	9.90E+04	7.80E+04	8.83E+04
5	2.90E+05	1.90E+05	1.60E+05	2.13E+05	2.60E+05	1.70E+05	2.60E+05	2.30E+05	1.00E+04	9.00E+04	3.00E+04	4.33E+04
6	4.30E+05	3.70E+05	4.90E+05	4.30E+05	2.63E+05	2.01E+05	2.64E+05	2.43E+05	7.10E+04	6.60E+04	6.30E+04	6.67E+04
7	1.21E+05	1.31E+05	1.89E+05	1.47E+05	2.33E+05	3.81E+05	2.90E+05	3.01E+05	6.30E+04	7.80E+04	6.80E+04	6.97E+04
8					1.35E+05	1.41E+05	1.29E+05	1.35E+05	1.24E+05	1.11E+05	7.00E+04	1.02E+05
9					2.50E+05	1.70E+05	2.80E+05	2.33E+05	1.15E+05	9.50E+04	1.05E+05	1.05E+05
10					2.28E+05	1.82E+05	2.49E+05	2.20E+05	1.15E+05	1.25E+05	1.24E+05	1.21E+05
11									2.49E+05	1.82E+05	2.07E+05	2.13E+05
12									1.23E+05	1.10E+05	1.15E+05	1.16E+05
13									1.06E+05	8.00E+04	1.18E+05	1.01E+05
14									210000	270000	230000	236666.667
N MAX(JRS)				3				7				11
UFC/mL				2.23E+05				3.01E+05				2.13E+05

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A 2, A-3- Triplicatas étalés 1 A, 1 B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.12 - Résultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, SA , 89-01-17

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL)							
	SA-A-1	SA-A-2	SA-A-3	SA-A	SA-B-1	SA-B-2	SA-B-3	SA-B
0	6.40E+02	5.60E+02		6.00E+02	6.30E+02	3.60E+02		4.95E+02
1	5.00E+02	0.00E+00	3.00E+02	2.67E+02	2.00E+02	3.00E+02	4.00E+02	3.00E+02
2	1.24E+04	1.25E+04	9.00E+03	1.13E+04	8.00E+02	3.00E+02		5.50E+02
3	3.40E+05	4.30E+05	3.00E+05	3.57E+05	1.70E+04	9.00E+03	1.40E+04	1.33E+04
4	5.00E+05	4.20E+05	3.10E+05	4.10E+05	4.30E+04	6.70E+04	7.40E+04	6.13E+04
5	1.50E+05	2.20E+05	1.80E+05	1.83E+05	1.00E+04	2.00E+04	1.00E+04	1.33E+04
6	4.60E+05	4.70E+05	4.80E+05	4.70E+05	9.00E+04	6.40E+04	9.30E+04	8.23E+04
7	4.51E+05	5.21E+05	3.85E+05	4.52E+05	7.70E+04	7.80E+04	8.60E+04	8.03E+04
8	3.06E+05	4.23E+05	3.41E+05	3.57E+05	2.84E+05	2.59E+05	2.09E+05	2.51E+05
9	5.30E+05	2.80E+05	3.70E+05	3.93E+05	2.20E+05	1.30E+05	1.80E+05	1.77E+05
10					3.60E+05	4.10E+05	3.70E+05	3.80E+05
11					2.20E+05	3.00E+05	3.00E+05	2.73E+05
12					3.50E+05	5.30E+05	4.00E+05	4.27E+05
13					3.40E+05	3.70E+05	2.90E+05	3.33E+05
14					260000	210000	390000	286666.7
N MAX (JRS)				6				12
(UFC mL)				4.70E+05				4.27E+05

1=affluent, 3=15 cm, 7= 80 cm, 9=140 cm A-1, A-2, A-3= Triplicatas étalés 1-A, 1-B =duplicatas bouteilles

TABLEAU A.13 - Résultats des dénombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 2-G , 89-02-28

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2
0	1.40E+02	2.90E+02		2.15E+02	2.70E+02	2.70E+02		2.70E+02	2.50E+02	3.70E+02		3.10E+02	2.80E+02	1.80E+02
1	1.00E+02	2.00E+02	3.00E+02	2.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	3.00E+02	3.67E+02	8.00E+02	5.00E+02	2.00E+02	5.00E+02	3.00E+02	1.00E+02
2	5.00E+03	5.00E+03	1.00E+04	6.67E+03	6.00E+03	6.00E+03	8.00E+03	6.67E+03	1.00E+04	1.30E+04	8.00E+03	1.03E+04	0	2.00E+03
3	1.55E+05	1.45E+05	1.51E+05	1.50E+05	7.30E+04	5.70E+04	6.20E+04	6.40E+04	7.50E+04	6.50E+04	6.80E+04	6.93E+04	8.40E+04	7.30E+04
4	1.29E+05	1.32E+05	1.34E+05	1.32E+05	1.02E+05	9.30E+04	1.10E+05	1.02E+05	2.16E+05	1.67E+05	1.85E+05	1.89E+05	2.40E+05	2.00E+05
5	1.09E+05	1.05E+05	1.30E+05	1.15E+05	2.40E+05	3.00E+05	3.60E+05	3.00E+05	1.58E+05	1.82E+05	1.21E+05	1.54E+05	2.00E+05	2.20E+05
6	2.05E+05	1.92E+05	2.35E+05	2.11E+05	1.30E+05	1.58E+05	1.18E+05	1.35E+05	1.58E+05	1.45E+05	1.89E+05	1.64E+05	1.20E+05	1.00E+05
7	4.80E+04	3.50E+04	4.60E+04	4.30E+04	2.50E+04	3.30E+04	3.00E+04	2.93E+04	2.80E+04	2.70E+04	3.20E+04	2.90E+04	2.00E+04	2.90E+04
8					2.60E+05	2.40E+05	3.00E+05	2.67E+05					3.30E+05	3.20E+05
9														9
10														10
N MAX (JR5)				3				5				4		
UFC/mL				1.50E+05				3.00E+05				1.89E+05		

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)												
(jour)	3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3
0		2.30E+02	2.30E+02	4.40E+02		3.35E+02	2.30E+02	3.50E+02		2.90E+02	4.20E+02	4.10E+02	
1	4.00E+02	2.67E+02	2.00E+02	5.00E+02	2.00E+02	3.00E+02	7.00E+02	8.00E+02	4.00E+02	6.33E+02	6.00E+02	5.00E+02	9.00E+02
2	3.00E+03	1.67E+03	0	0	2.00E+03	6.67E+02	2.00E+03	4.00E+03	5.00E+03	3.67E+03	5.00E+03	3.00E+03	8.00E+03
3	7.60E+04	7.77E+04	2.60E+04	2.20E+04	3.30E+04	2.70E+04	5.80E+04	5.30E+04	5.10E+04	5.40E+04	1.43E+05	1.41E+05	1.52E+05
4		2.20E+05	4.70E+04	5.20E+04		4.95E+04	7.40E+04	6.10E+04	6.30E+04	6.60E+04	6.80E+04	7.10E+04	7.60E+04
5	3.30E+05	2.50E+05	1.16E+05	9.50E+04	1.09E+05	1.07E+05	7.10E+04	7.20E+04	5.20E+04	6.50E+04	6.70E+04	5.60E+04	
6	2.23E+05	1.48E+05	1.04E+05	1.25E+05	1.11E+05	1.13E+05	1.10E+05	8.10E+04	8.60E+04	9.23E+04	8.90E+04	1.12E+05	1.13E+05
7	2.90E+04	2.60E+04	1.10E+04	1.30E+04	2.00E+03	8.67E+03	1.20E+04	1.60E+04	2.20E+04	1.67E+04	1.70E+04	2.40E+04	2.70E+04
8	3.10E+05	3.20E+05	6.60E+04	9.70E+04	6.30E+04	7.53E+04	1.04E+05	1.41E+05	1.58E+05	1.34E+05			
9			3.40E+05	3.70E+05	2.90E+05	3.33E+05	1.91E+05	1.90E+05	2.09E+05	1.97E+05			
10			1.06E+05	1.04E+05	1.05E+05	1.05E+05	7.50E+04	9.60E+04	9.70E+04	8.93E+04			
		5				6				9			
		2.50E+05				1.13E+05				1.97E+05			

1-affluent, 3-15 cm, 7-80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas etales 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.13 - Résultats des dénombrements de colonies, methode van der Kooij, F 2-G , 89-02-28

Temps d'incubation (jour)	Colonies (UFC/mL) 9-A	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	EFF-A-1	EFF-A-2	EFF-A-3	EFF-A	EFF-B-1	EFF-B-2	EFF-B-3	EFF-B
0	4.15E+02	4.80E+02	4.40E+02		4.60E+02	4.00E+02	3.20E+02		3.60E+02	4.80E+02	5.20E+02		5.00E+02
1	6.67E+02	4.00E+02	7.00E+02	5.00E+02	5.33E+02	1.60E+03	1.30E+03	2.00E+03	1.63E+03	5.00E+02	6.00E+02	1.00E+03	7.00E+02
2	5.33E+03	1.00E+04	1.00E+04	5.00E+03	8.33E+03	2.20E+04	2.70E+04	1.30E+04	2.07E+04	0	0	1.00E+03	3.33E+02
3	1.45E+05	1.00E+05	1.14E+05	1.08E+05	1.07E+05	1.29E+05	1.37E+05	1.44E+05	1.37E+05	3.10E+04	3.00E+04	2.50E+04	2.87E+04
4	7.17E+04	5.80E+04	4.70E+04	5.90E+04	5.47E+04	1.72E+05	2.04E+05	1.92E+05	1.89E+05	1.09E+05	9.00E+04	9.90E+04	9.93E+04
5	6.15E+04	6.70E+04	7.60E+04	6.90E+04	7.07E+04	1.45E+05	1.56E+05		1.51E+05	6.20E+04	6.50E+04	6.90E+04	6.53E+04
6	1.05E+05	9.30E+04	8.60E+04	1.09E+05	9.60E+04	1.29E+05	1.17E+05	1.62E+05	1.36E+05	7.80E+04	5.10E+04	5.30E+04	6.07E+04
7	2.27E+04	1.80E+04	2.00E+04	2.00E+04	1.93E+04	2.50E+04	3.60E+04	4.40E+04	3.50E+04	1.30E+04	1.60E+04	1.20E+04	1.37E+04
8													
9													
10													
	3				3				4				4
	1.45E+05				1.07E+05				1.89E+05				9.93E+04

1-affluent, 3-15 cm, 7-80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas etalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.14 - Résultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D , 89-02-28

temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	1-A-1	1-A-2	1-A-3	1-A	1-B-1	1-B-2	1-B-3	1-B	3-A-1	3-A-2	3-A-3	3-A	3-B-1	3-B-2
0	5.60E+02	4.20E+02		4.90E+02	4.60E+02	3.60E+02		4.10E+02	4.00E+02	3.90E+02		3.95E+02	4.30E+02	3.90E+02
1	1.00E+03	6.00E+02	8.00E+02	8.00E+02	5.00E+02	1.30E+03	5.00E+02	7.67E+02	6.00E+02	8.00E+02	1.00E+03	8.00E+02	5.00E+02	8.00E+02
2	8.00E+03	1.00E+04	1.10E+04	9.67E+03	5.00E+03	9.00E+03	1.00E+04	8.00E+03	6.10E+04	3.70E+04	5.30E+04	5.03E+04	3.00E+05	2.79E+05
3	2.90E+05	3.00E+05	2.50E+05	2.80E+05	3.30E+05	2.10E+05	2.30E+05	2.57E+05	2.80E+05	2.70E+05	2.63E+05	2.71E+05	6.26E+05	8.54E+05
4	1.51E+05	1.34E+05	1.74E+05	1.53E+05	1.36E+05	1.03E+05	9.80E+04	1.12E+05	1.75E+05	1.79E+05	1.91E+05	1.82E+05	4.30E+05	5.00E+05
5	1.27E+05	1.14E+05	1.25E+05	1.22E+05	1.47E+05	1.55E+05	1.42E+05	1.48E+05	1.33E+05	1.33E+05	1.53E+05	1.40E+05	2.80E+05	4.00E+05
6	1.20E+05	1.18E+05	1.24E+05	1.21E+05	2.28E+05	2.23E+05	2.17E+05	2.23E+05	1.60E+05	1.25E+05	1.19E+05	1.35E+05	5.70E+05	5.20E+05
7	1.46E+05	1.42E+05	1.57E+05	1.48E+05	3.20E+05	3.80E+05	2.60E+05	3.20E+05	3.20E+05	2.50E+05	2.30E+05	2.67E+05	4.00E+05	5.40E+05
8														
9														
10														
N MAX (JRS)				3				3				3		
UFC/mL				2.80E+05				2.57E+05				2.71E+05		

temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)													
(jour)	3-B-3	3-B	7-A-1	7-A-2	7-A-3	7-A	7-B-1	7-B-2	7-B-3	7-B	9-A-1	9-A-2	9-A-3	9-A
0		4.10E+02	5.70E+02	3.30E+02		4.50E+02	4.90E+02	3.60E+02		4.25E+02	3.30E+02	4.40E+02		3.85E+02
1	1.00E+03	7.67E+02	6.00E+02	9.00E+02	7.00E+02	7.33E+02	7.00E+02	9.00E+02	7.00E+02	7.67E+02	8.00E+02	9.00E+02	5.00E+02	7.33E+02
2	2.87E+05	2.89E+05	2.60E+04	3.10E+04	3.20E+04	2.97E+04	7.10E+04	1.68E+05	7.20E+04	1.04E+05	5.20E+04	5.70E+04	5.20E+04	5.37E+04
3	7.86E+05	7.55E+05	2.45E+05	2.24E+05	2.76E+05	2.48E+05	1.38E+05	1.40E+05	1.23E+05	13.4E+05	3.75E+05	4.36E+05	3.54E+05	3.88E+05
4	5.90E+05	5.07E+05	1.33E+05	1.40E+05	1.70E+05	1.48E+05	2.10E+05	1.98E+05	2.06E+05	2.05E+05	1.42E+05	1.58E+05	1.52E+05	1.51E+05
5	4.00E+05	3.60E+05	2.80E+05	2.70E+05	3.90E+05	3.13E+05	1.45E+05	1.12E+05	1.30E+05	1.29E+05	1.49E+05	1.38E+05	1.58E+05	1.48E+05
6	5.90E+05	5.60E+05	1.33E+05	1.40E+05	1.70E+05	1.48E+05	8.60E+04	9.80E+04	1.19E+05	1.01E+05	1.75E+05	1.76E+05	1.35E+05	1.62E+05
7	4.80E+05	4.73E+05	2.80E+05	2.70E+05	3.90E+05	3.13E+05	1.94E+05	1.72E+05	1.89E+05	1.85E+05	3.30E+05	1.80E+05	2.40E+05	2.50E+05
8			1.33E+05	1.38E+05	1.02E+05	1.24E+05								
9			1.52E+05	1.47E+05	1.59E+05	1.53E+05								
10			1.31E+05	1.78E+05		1.55E+05								
N MAX (JRS)		3				5				4				3
UFC/mL		7.55E+05				3.13E+05				2.05E+05				3.88E+05

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas étalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

TABLEAU A.14 - Résultats des denombrements de colonies, méthode van der Kooij, F 5-D , 89-02-28

temps d'incubation	colonies (UFC/ML)											
(jour)	9-B-1	9-B-2	9-B-3	9-B	EFF-A-1	EFF-A-2	EFF-A-3	EFF-A	EFF-B-1	EFF-B-2	EFF-B-3	EFF-B
0	4.40E+02			4.40E+02	3.40E+02	4.20E+02		3.80E+02	4.00E+02	5.00E+02		4.50E+02
1	5.00E+02	5.00E+02	2.00E+02	4.00E+02	7.00E+02	5.00E+02	9.00E+02	7.00E+02	8.00E+02	4.00E+02	1.00E+01	4.03E+02
2	1.30E+04	1.50E+04	1.50E+04	1.43E+04	2.40E+04	2.30E+04	2.90E+04	2.53E+04	3.40E+04	3.60E+04	1.40E+04	2.80E+04
3	1.22E+05	1.06E+05	1.08E+05	1.12E+05	5.60E+04	4.40E+04	6.20E+04	5.40E+04	2.35E+05	2.33E+05	2.67E+05	2.45E+05
4	1.00E+05	1.29E+05	1.01E+05	1.10E+05	2.20E+05	2.16E+05	2.18E+05	2.18E+05	1.49E+05	1.85E+05	1.52E+05	1.62E+05
5	1.50E+05	1.62E+05	1.90E+05	1.67E+05	1.28E+05	1.52E+05	1.53E+05	1.44E+05	1.05E+05	1.10E+05	1.18E+05	1.11E+05
6	1.58E+05	8.50E+04	1.41E+05	1.28E+05	3.70E+05	4.40E+05	3.80E+05	3.97E+05	1.22E+05	1.21E+05	1.24E+05	1.22E+05
7	1.57E+05	1.51E+05	1.63E+05	1.57E+05	2.06E+05	1.93E+05	2.13E+05	2.04E+05				
8	1.10E+05	1.04E+05	1.33E+05	1.16E+05	1.46E+05	1.39E+05	1.76E+05	1.54E+05				
9					2.00E+05	2.70E+05	3.00E+05	2.57E+05				
10												
N MAX (JRS)				5				6				3
UFC/mL				1.67E+05				3.97E+05				2.45E+05

Temps d'incubation	Colonies (UFC/mL)							
(jour)	SA-A-1	SA-A-2	SA-A-3	SA-A	SA-B-1	SA-B-2	SA-B-3	SA-B
0	4.00E+02	3.90E+02		3.95E+02	3.50E+02	5.10E+02		4.30E+02
1	0	0	1.00E+01	3.33E+00	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1.00E+02	0	3.33E+01	0	0	0	0
4	2.00E+01	1.00E+01	0	1.00E+01	0	0	1.00E+01	3.33E+00
5	5.00E+01	2.00E+01	5.00E+01	4.00E+01	0	0	2.00E+01	6.67E+00
6	7.00E+01	5.00E+01	7.00E+01	6.33E+01	0	1.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
7	4.00E+01	3.00E+01	0	2.33E+01	1.00E+01	0	0	3.33E+00
8	7.00E+01	1.20E+02	2.00E+01	7.00E+01	1.00E+01	0	1.00E+01	6.67E+00
9	1.30E+02	9.00E+01	7.00E+01	9.67E+01	0	1.00E+01	0	3.33E+00
10	1.20E+02	5.00E+01	7.00E+01	8.00E+01	0	0	0	0
N MAX (JRS)				1				1
(UFC/mL)				3.33E+00				<0.01

1-affluent, 3-15 cm, 7- 80 cm, 9-140 cm A-1, A-2, A-3- Triplicatas etalés 1-A, 1-B -duplicatas bouteilles

ANNEXE 2

LISTE DU MATÉRIEL - MÉTHODE JORET

- Ballon en verre de 1 L
- Bouchon à 2 trous #4 (pour ballon de 1 l)
- Pipette de 2 mL en pyrex (pour aération dans ballon)
- Tube 6,35 mm de Ø (¼")
- Pipette à remplissage renflée de 10 mL (pour pré-filtre)
- Coton non-adsorbant
- Filtre Millex-FG pour gaz, 0,2 µm, 25 mm de diamètre
- Système de filtration
- Filtre Sartorius FZ850-292, 0,22 µm
- Fioles de 40 mL en pyrex
- HNO_3 10%
- Analyseur de COD DORMANN 80

LISTE DU MATÉRIEL – MÉTHODE HILLEN

- Systèmes de filtration en verre pour les échantillons d'eau 500 mL
  Ø = 47 mm
  (erlen filtrant, réceptacle de filtration,
  cône de filtration de 250 mL)

- Systèmes de filtration en verre pour épifluorescence : Ø = 25 mm

- Bouteilles de 1 L, en borosilicate

- Fioles de 40 mL

- Four à moufle

- Pipettes en borosilicate de 5 mL (inoculum)
  Pipettes en borosilicate de 1 mL (échantillon pour épifluorescence)

- Membranes filtrantes: voir section 3.?.6

- Seringue de 40 mL pour filtration de l'orange acaridine, Formol et eau MilliQ

- Orange acridine

- Formol 40%

- Eau MilliQ

- Pipettes jetables de 1 mL (pour manipulations de l'orange acridine, Formol et eau MilliQ

- Lames en verre

- Lamelles

- Microscope à épifluorescence

LISTE DU MATÉRIEL - MÉTHODE VAN DER KOOIJ

Appareil

- Autoclave - pour stérilisation des eaux de dilution à 121°C pendant 15 minutes
- Bain d'eau à 70-90°C
- Balance ± 10 mg
- Balance analytique ± 0,1 mg
- Compteur Québec
- Four à 80°C
- Four à 180-230°C
- Four à moufle à 550°C
- Incubateur à 5 ± 1°C
- Incubateur à 20 ± 0,5°C
- Mixeur à vortex

Produits chimiques

- Acétate de sodium A.C.S.
- Acide chromique
  . dans 4,1 kg (9,0 lb) d'acide sulfurique, ajouter 25 mL d'Anasol CS-10. Agiter doucement pendant ½ journée.
- Eau déminéralisée
- Eau de dilution
  . Préparer une saline à 0,85% en NaCl dans de l'eau déminéralisée
- Eau physiologique
  . 7,0 g K_2HPO_4
  . 3,0 g KH_2PO_4
  . 1,0 g $(NH_4)_2SO_4$
  . 0,1 g $MgSO_4.7H_2O$

  dans 1 L d'eau MilliQ
- Eau MilliQ (COT <0,2 mg/L)

Verrerie

- Ballons jaugés de 100 mL (pour préparation des standards acétate)
- Bouchons en téflon pour flacons de 40 mL
- Erlenmeyers en borosilicate de 250 mL
- Flacons en borosilicate de 40 mL
- Pipettes calibrées en pyrex de 2 mL, 5 mL et 10 mL
- Tubes à dilution

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290918 0