

2BY

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT Génie de l'Environnement



# PROJET DE FIN D'ETUDES

### S U J E T

ETUDE DU POUVOIR EPURATEUR D'UN  
MODELE D'EAU USEE AU NIVEAU  
DU LABORATOIRE .

Proposé par :

Mr .A.Dowgiallo .

Etudié par :

Mr .A.Chibane .

Dirigé par :

Mr .A.Dowgiallo .

PROMOTION :

Janvier 86 .

Département : Génie de l'Environnement

Proposeur : A. DOWGIALLO

Thème : Ingénieur : CHIBANE Azzeddine

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

مصلحة : هندسة البيئة

موجه : دوقيالو أندريس

تلميذ مهندس : شيبان عز الدين

- الموضوع : دراسة علن مستوى المخبر للقدرة المطهرة لمثال من المياه القذرة .

- الملخص : إن مشروعنا يتناول دراسة تطهير بيولوجي لماء قذر تألفي من الشكل الفلاحي الغذائي .

هذه الدراسة تتركب من أربعة فصول أساسية ، وهي علن التالي :

. الفصل الأول يقتصر علن بحث نظري مخصص لطرح المياه الملوثة على الوسط الطبيعي وبالتالي

تطور نوعية الماء علن مسار المجرى المائي .

. الفصل الثاني يعرفنا الأسلوب التطبيقي الذي إتخذناه في تصميم وتأليف الماء الملوث .

. الفصل الثالث يتطرق نتائج التعاليل وترجمتها وكذا تحديد النموذج النجيع .

. الفصل الرابع والأخير تحوي الخلاصة العامة لهذه الدراسة .

Objet : Etude du pouvoir épurateur d'un modèle d'eau usée au niveau du laboratoire .

Résumé : Notre thèse traite de l'étude d'une épuration biologique d'une eau usée synthétique de

type agro-alimentaire . Cette étude se compose de 4 chapitres principaux :

Le premier est consacré à une recherche théorique relative aux rejets d'eaux usées dans le milieu récepteur et à l'évolution de la qualité de l'eau le long du cours d'eau .

Le second chapitre nous définit le protocole expérimental adopté dans l'élaboration et la synthèse du milieu pollué .

Le 3<sup>e</sup> chapitre est consacré aux résultats d'analyses et leur interprétation ainsi qu'une étude comparative

Le dernier chapitre contient la conclusion générale de l'étude .

Subject : The laboratory investigation of the purification capacity of a model waste water .

Abstract : This study attempted at investigating the process of biological purification of a synthetic industrial waste water of the agro-alimentary type . It is composed of 4 main parts .

Part 1 : presents a theoretical approach , relative of the effects of wastes on a water body and of the water quality along a water current .

Part 2 : discusses the experimental design and the choice of the synthetic medium .

Part 3 : is devoted to the presentation of analytical results and their interpretation , leading to a comparative study of treatment systems in order to select the most efficient one .

Part 4 : summarises the results and presents general conclusions .

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents  
Mes frères et sœurs  
Ma nièce et mes neveux  
Et sous mes amis (es).

Azzeddine .

## Remerciements :

Au terme de cette étude , je tiens à remercier vivement :

Mon promoteur M<sup>r</sup> A. DOWGIALLO pour ses conseils et orientations qui ont été pour moi très instructifs .

M<sup>r</sup> A. NAMANE , Chef de Département Génie de l' Environnement .

Je remercie également pour leur précieuse aide :

M<sup>lle</sup> BOUKHEMIA de l' INA .

M<sup>r</sup> BOUACHE du département Hydraulique .

M<sup>r</sup> NOUAR du département Génie de l' Environnement .

Je remercie d' une manière générale les professeurs qui ont contribué à ma formation .

Mon respect aux membres du jury qui me feront l' honneur d' apprécier mon travail .

## Sommaire :

Chapitre I - Introduction .....	1
1 - Préambule .....	1
2 - Objectif de l'étude .....	2
A - ETUDE THEORIQUE .....	3
Chapitre I - Pollution et Critère de pollution .....	3
Chapitre II - Origine des eaux usées .....	4
Chapitre III - Critères et Niveaux de qualité d'une eau .....	4
Chapitre IV - Pouvoir autoépurateur .....	5
1 - Introduction .....	5
2 - Le système écologique .....	6
Chapitre V - Critères analytiques .....	8
1 - Demande biochimique en oxygène (DBO) .....	8
1.1 - Définition de la $DBO_5$ .....	8
1.2 - Mesure de la $DBO_5$ .....	9
1.3 - Facteurs influençant la DBO .....	10
1.4 - Biodégradabilité et demande théorique d'oxygène .....	12
2 - Demande chimique en oxygène (DCO) .....	14
2.1 - Définition - Principe - Intérêt .....	14
2.2 - Mesure de la DCO .....	15
3 - Matières en suspension (MES) .....	16
4 - pH - Acidité - Alcalinité .....	16
5 - L'Azote et le Phosphore .....	17
5.1 - L'Azote .....	17
5.2 - Le Phosphore .....	18
6 - Les métaux toxiques ou nuisibles .....	19

Chapitre VI - Microorganismes pathogènes dans les eaux usées et risque sanitaire . . . . .	19
1 - Liminaire . . . . .	19
2 - Microorganismes pathogènes dans les eaux usées . . . . .	19
2.1 - Les bactéries . . . . .	20
2.2 - Les virus . . . . .	20
2.3 - Les parasites . . . . .	21
2.4 - Champignons et levures . . . . .	21
3 - Evolution des microorganismes pathogènes dans les eaux usées et le milieu naturel . . . . .	21
4 - Evaluation pratique du risque épidémiologique . . . . .	22
<b>B - ETUDE EXPERIMENTALE . . . . .</b>	<b>24</b>
Chapitre I - Protocole expérimental . . . . .	24
Chapitre II - Présentation du modèle réduit . . . . .	25
Chapitre III - Synthèse du milieu pollué . . . . .	27
Chapitre IV - Cinétique du processus épurateur . . . . .	32
Chapitre V - Méthodologie expérimentale . . . . .	33
1 - Prélèvements et échantillonnages . . . . .	33
2 - Programme des analyses . . . . .	34
3 - Etude expérimentale de la 1 <sup>ère</sup> variante . . . . .	35
3.1 - Introduction . . . . .	35
3.2 - Expression des résultats . . . . .	35
3.3 - Discussion et analyse des résultats . . . . .	40
3.4 - Conclusion . . . . .	43
4 - Etude expérimentale de la 2 <sup>e</sup> variante . . . . .	44
4.1 - Introduction . . . . .	44
4.2 - Expression des résultats . . . . .	44

4.3 - Discussion et analyse des résultats . . . . .	49
4.4 - Conclusion . . . . .	51
5 - Etude expérimentale de la 3 <sup>e</sup> variante . . . . .	52
5.1 - Introduction . . . . .	52
5.2 - Expression des résultats . . . . .	52
5.3 - Discussion et analyse des résultats . . . . .	57
5.4 - Conclusion . . . . .	59
6 - Etude expérimentale de la 4 <sup>e</sup> variante . . . . .	60
6.1 - Introduction . . . . .	60
6.2 - Expression des résultats . . . . .	60
6.3 - Discussion et analyse des résultats . . . . .	65
6.4 - Conclusion . . . . .	67
Chapitre VI - Etude comparative . . . . .	68
1 - Introduction . . . . .	68
2 - Expression des résultats . . . . .	68
3 - Interprétation des résultats . . . . .	72
4 - Conclusion . . . . .	72
Chapitre VII - Conclusion Générale et Recommandations . . . . .	73
. Références bibliographiques . . . . .	74

# Chapitre I - INTRODUCTION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
 Ecole Nationale Polytechnique

## I.1 Préambule :

Depuis des milliers d'années, la nature alimente les êtres vivants en eau propre. Cependant avec l'arrivée de l'homme et son mode de vie, le réseau naturel d'épuration de l'eau est devenu surchargé et ne peut plus assurer à l'homme une quantité suffisante d'eau propre, ni conserver sain son environnement global.

Tant qu'il y a eu suffisamment d'eau de dilution pour absorber les déchets, la nature s'est chargée de nos problèmes d'évacuation. Mais au fur et à mesure que les villes et les industries sont apparues, les charges polluantes ont augmenté jusqu'à ce que le procédé naturel d'épuration ne puisse plus suffire à la tâche.

Il est facile de penser que la dilution constitue la solution à la pollution. Il suffit de déverser nos eaux usées dans les cours d'eau, et de ne pas y songer davantage.

La quantité de déchets déversée dans les cours d'eau étant supérieure à ce que la nature peut traiter, ceux-ci deviennent de toute évidence un danger pour les consommateurs des agglomérations riverraines, mais aussi pour ceux vivant en aval du cours d'eau.

En tenant compte du fait que les ressources en eau douce ne sont pas inépuisables; il apparaît donc indispensable de les préserver, de les contrôler et, si possible de les accroître.



## I.2 Objectif de l'étude :

Notre étude se base sur une simulation, au niveau du laboratoire d'un cours d'eau souillé par une pollution à caractère organique dominant provenant des rejets d'un groupement d'industries alimentaires.

Nous aurons ainsi à suivre l'évolution au cours du temps du pouvoir épurateur aérobie ; à une échelle réduite celle du laboratoire.

Pour cela, après synthèse du milieu pollué, nous avons inventorié 4 variantes qu'on étudiera séparément.

Cette étude a pour but d'établir les conditions optimales nous fixant l'efficacité maximale de l'autoépuration de notre milieu pollué.

L'autoépuration est conditionnée par divers facteurs naturels.

Notre travail s'est axé sur le rôle et l'influence de deux principaux de ces facteurs ; que sont les apports en oxygène dissous et la dilution de la pollution organique.

L'intérêt pratique de cette étude réside dans le fait que l'estimation du pouvoir épurateur nous permet de fixer les normes de rejets évacués en fonction des objectifs de qualité à respecter.

Ainsi, pourra-t-on préserver l'autoépuration des cours d'eau contre le risque d'être dépassée, sinon aider ceux-ci dans leur tâche par des aménagements pratiques.

## A - ETUDE THEORIQUE.

### Chapitre I - Pollution et Critère de pollution :

La pollution peut être définie comme un changement indésirable dans les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'air, de l'eau ou du sol ; changement qui est ou peut être nuisible à l'homme et aux êtres vivants, aux processus industriels, aux conditions de vie et aux valeurs culturelles.

Les polluants sont produits par les écosystèmes naturels tout comme par les activités agricoles et industrielles de l'homme.

Il existe 3 types de polluants :

1) Les polluants non dégradables : qui constituent un groupe important de polluants incluant les produits métalliques, les détergents à longue chaîne organique, le verre, les dérivés phénoliques, les matières plastiques et le reste des produits de l'homme qui ne se dégradent pas ou qui ne se dégradent que très lentement dans le milieu naturel. Ces polluants sont recyclés ou utilisés pour le remplissage.

2) Les polluants biodégradables : qui peuvent être décomposés rapidement par des processus naturels ou artificiels.

3) Les poisons : comprennent les sels de métaux lourds (Hg, Pb, Cd et autres), les gaz contenus dans le SMOG, les substances radioactives, les pesticides, et un déploiement croissant des produits chimiques agricoles et industriels dont la toxicité pour les hommes et les autres êtres vivants est encore peu connue ou méconnue.

Plusieurs de ces polluants ont tendance à se concentrer le long de la chaîne alimentaire. Qu'ils soient dégradables ou non, ces polluants interfèrent avec les processus biologiques vitaux de l'environnement et ils constituent une menace directe pour la santé humaine.

## Chapitre II - Origine des eaux usées :

D'une manière générale une eau polluée est une eau dont le déversement a pour effet de provoquer ou d'augmenter la pollution du milieu receveur dans lequel elle est rejetée.

Cette pollution est provoquée par des matières en suspension colloïdales ou en solution d'origine naturelle ou synthétique.

Les eaux usées proviennent de 4 sources principales :

- Les eaux usées domestiques.
- Les eaux usées industrielles.
- Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.
- Le ruissellement dans les zones agricoles.

On notera que les eaux usées urbaines ainsi que les eaux résiduaires industrielles à caractère organique dominant sont caractérisées principalement par leur biodégradabilité (possibilité d'épuration par traitements biologiques); celle-ci étant rendue possible par l'existence d'une alimentation équilibrée pour les bactéries (carbone, azote et phosphore).

## Chapitre III - Critères et niveaux de qualité d'une eau :

La pollution organique d'une eau peut être mesurée par la demande d'oxygène exercée, c'est-à-dire grâce à sa DBO<sub>5</sub>, à la DCO ou au COT. On choisit l'un de ces 3 paramètres selon le type de l'eau, selon les renseignements désirés et selon l'appareillage et le temps dont on dispose.

Par ailleurs, la demande d'oxygène exercée par le milieu ne peut être satisfaite que si l'eau possède une teneur en O.D. suffisante et une bonne capacité de réoxygénation.

Pour décider du niveau de qualité d'une eau, il faut donc tenir compte de 2 paramètres : une eau est de qualité désirable si sa DBO<sub>5</sub> est faible (moins de 1 mg/l) et si sa teneur en O.D. est

proche de la saturation. La qualité est acceptable quand la différence entre l'O.D et la DBO<sub>5</sub> est supérieure à 4 mg/l environ, de façon à assurer la vie aquatique.

D'autres critères sont également à considérer, notamment :

- La turbidité de l'eau ou la teneur des solides en suspension.
- La concentration en sels minéraux, nitrates et phosphates surtout, et le degré d'eutrophisation correspondant dans le cas des lacs.
- L'indice de diversité des microorganismes, c'est-à-dire le rapport nombre d'espèces / nombre d'individus par espèce ; la qualité de l'eau augmente avec cette diversité.

Pour les rejets industriels, la DCO constitue un meilleur critère à utiliser pour les normes gouvernant ces rejets.

Enfin, à la charge organique classique, vient s'ajouter une micro-pollution constituée de très faibles quantités de substances organiques toxiques. Celle-ci est difficilement contrôlable car échappant souvent aux méthodes de mesure habituelles.

## Chapitre IV - Pouvoir autoépurateur :

### IV - 1 - Introduction :

L'assimilation des matières polluantes est effectuée au moyens de divers mécanismes. En premier lieu, la rivière agit par ses propriétés purement hydrodynamiques : la convection qui assure le transport des déchets jusqu'à la mer, la diffusion - dispersion qui assure la dilution des polluants jusqu'à des concentrations admissibles, la sédimentation sur les fonds ; ces phénomènes régissent notamment l'évolution des polluants conservatifs dont le volume total reste invariant dans le système. Dans notre étude nous ne traiterons pas ces aspects hydrodynamiques.

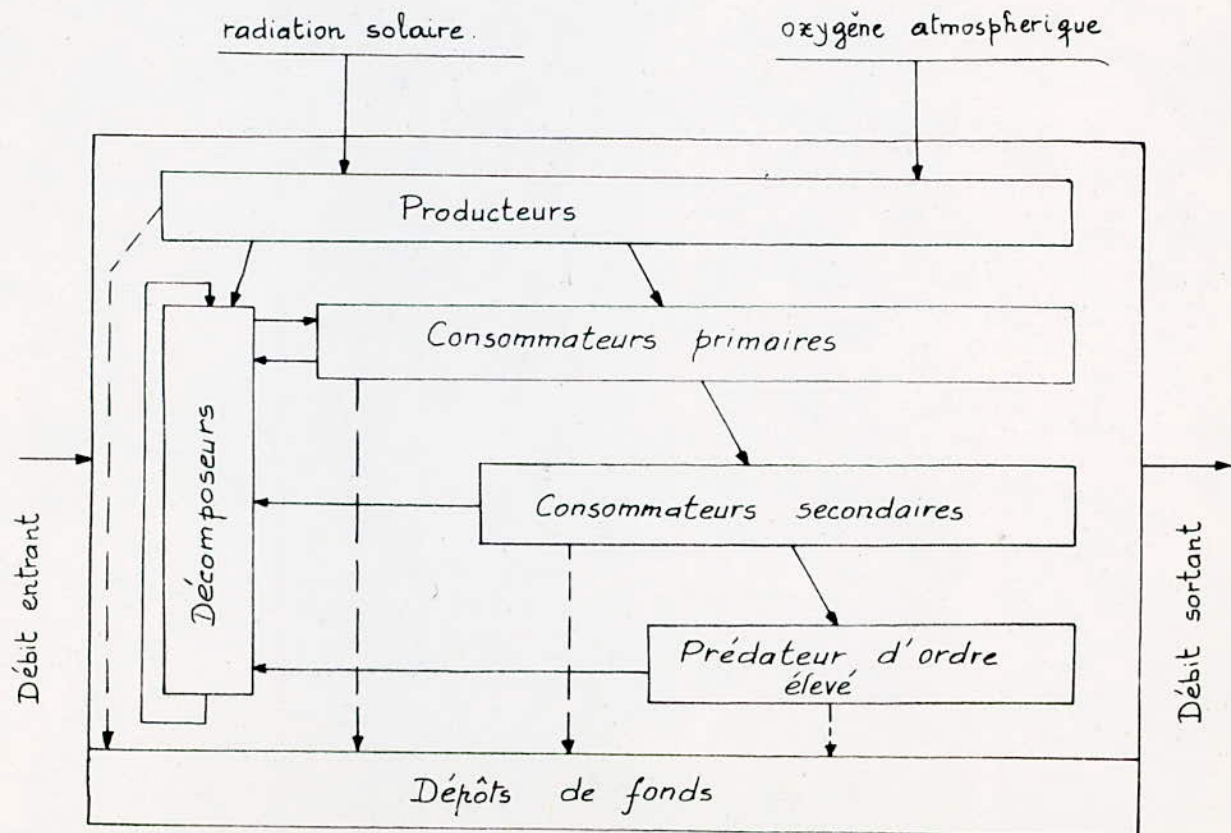
Mais un cours d'eau est un milieu vivant contenant des types variés d'organismes interagissant entre eux et avec l'environnement ;

L'action biochimique de ces organismes assure une dégradation de certains polluants non conservatifs, notamment ceux d'origine organique.

Ce pouvoir autoépurateur du système écologique, que constitue un cours d'eau, est un élément essentiel à prendre en compte pour une bonne gestion de la qualité de l'eau. Pour l'entretien des réactions biochimiques, la principale source d'énergie de ces organismes est l'oxygène dissous dans le milieu. Les variations d'oxygène dissous fournissent donc une indication de l'activité biochimique et sont en corrélation avec les résidus de cette activité : gaz carbonique, ammoniac, nitrites, nitrates, etc... Il s'agit donc d'un critère de qualité de l'eau essentiel.

#### IV. 2 - Le système écologique :

Dans ce chapitre, nous avons jugé utile de reprendre le diagramme élaboré par H.A Thomas, décrivant le système écologique qui constitue une rivière.



Classiquement, on distingue 4 composantes du système :

1 - Le substrat : matériaux chimiques ; oxygène, ammoniac, gaz carbonique, etc... ou matières organiques, toutes substances nutritives qui servent de support et de nourriture aux microorganismes responsables de l'épuration biologique.

2 - Les producteurs : membres vivants du système utilisant les matériaux chimiques simples et la radiation solaire pour la croissance des cellules et produisant notamment de l'oxygène (algues, phytoplancton, plantes attachées ou flottantes).

3 - Les consommateurs : de tous ordres, qui se nourrissent des producteurs (herbivores) ou autres consommateurs (carnivores) comprenant par ordre de consommation dans la chaîne trophique : les protozoaires et crustacés → larves d'insectes, vers → insectes → poissons et prédateurs d'ordre élevé comme l'homme.

4 - Les décomposeurs : comprenant notamment les bactéries utilisant les déchets ou corps morts des producteurs ou consommateurs pour leur croissance et leur reproduction. Les déchets du processus retournent alors à l'environnement sous forme de matières chimiques simples.

À chaque niveau de la chaîne alimentaire, une production ou une consommation d'oxygène apparaissent. Les sources et puits notables d'oxygène sont :

Sources d'oxygène :

- L'oxygène dissous dans le volume d'eau entrant dans le système.
- La photosynthèse.
- La réoxygénation par la surface.

Puits d'oxygène :

- L'oxydation biologique des matières organiques carbonées.
- L'oxydation biologique des matières organiques azotées.
- L'oxydation biologique des composés soufrés.

- La décomposition des dépôts de fonds et la respiration des boues.
- La respiration des plantes aquatiques.

Les variations de l'oxygène dissous dans l'eau résultent du jeu des phénomènes précédents. C'est ainsi que les microorganismes, dits aérobie, utilisent cet oxygène dissous pour l'oxydation biologique des matières organiques. Mais en l'absence d'oxygène dissous, cette oxydation est effectuée par des microorganismes anaérobies qui empruntent l'oxygène nécessaire aux matières et aux sels présents dans l'eau (substances organiques, nitrates, sulfates, etc...). Ces réactions anaérobies provoquent des nuisances par l'émission d'odeurs malséantes liées à la production de  $\text{SH}_2$ , de  $\text{CH}_4$  et acides gras volatils.

## Chapitre V - Critères analytiques :

On définit pour les eaux usées, tant domestiques qu'industrielles un certain nombre de paramètres spécifiques. Il s'agit de :

- 1 - La DBO (demande biochimique en oxygène) qui définit la teneur en matières organiques dégradables de l'eau.
- 2 - La DCO (demande chimique en oxygène) qui définit la teneur de la presque totalité des matières organiques biodégradables et réfractaires.
- 3 - Les matières en suspension, totales et volatiles.
- 4 - Le pH, l'alcalinité, l'acidité.
- 5 - L'azote et le phosphore.
- 6 - Les métaux toxiques ou nuisibles.

### V-1 Demande biochimique en oxygène (DBO) :

#### V-1-1 Définition de la $\text{DBO}_5$ :

C'est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l nécessaire pour oxyder les matières organiques présentes dans une eau usée avec l'aide des microorganismes. Par convention, on prend la valeur de la DBO, celle de la quantité d'oxygène consommée en 5 jours ( $\text{DBO}_5$ )

à 20°C et à l'obscurité.

La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution.

La dégradation complète des matières peut être relativement longue prenant plusieurs semaines. D'autre part, la nitrification absorbe également de l'oxygène. Et pour ces 2 raisons, on mesure la demande biochimique d'oxygène en 5 jours ( $DBO_5$ ). En réalité la mesure de la DBO devrait nous renseigner le mieux possible sur le phénomène pouvoir épurateur; néanmoins de nombreux facteurs naturels, tels que l'ensoleillement, la température et ses variations, la nature et le nombre des espèces de microorganismes ou la réoxygénation perpétuelle du milieu ne sont pas facilement reproductibles, aussi vaut-il mieux considérer les expériences ayant trait à la détermination des DBO comme de simples mesures de la charge organique biodégradable. La  $DBO_5$  est un test très utilisé pour les eaux usées domestiques et pour surveiller l'efficacité des divers procédés de traitement.

### V-1-2 Mesure de la $DBO_5$ :

La  $DBO_5$  représente une quantité d'oxygène consommé. Elle est exprimée en unités de concentration (mg d'oxygène par litre d'échantillon); on la détermine en faisant incuber pendant 5 jours à 20°C, un échantillon d'eau conservé à l'abri de l'air et de la lumière. La  $DBO_5$  est égale à la différence entre la quantité d'O.D initialement présent et la quantité d'O.D résiduel à la fin de la période d'incubation.

On dose l'O.D grâce à un oxymètre ou par iodométrie.

Dans le cas d'eaux fortement polluées, la quantité d'oxygène contenue dans l'échantillon peut ne pas être suffisante pour satisfaire à la demande; la teneur en O.D après incubation est alors nulle. Pour éviter cela, il faut dès le début, diluer l'échantillon à l'aide d'une eau n'exerçant



aucune demande d'oxygène et saturée d'oxygène (eau de dilution).

Le pourcentage P de dilution doit être choisi selon la nature de l'échantillon, c'est-à-dire selon sa  $DBO_5$  anticipée.

Quand on effectue la dilution, il faut préparer 2 échantillons identiques : l'un est dosé immédiatement, l'autre est déposé dans l'incubateur et dosé 5 jours plus tard. En tenant compte de la dilution, il vient :

$$DBO_5 = \frac{[O.D]_{\text{initial}} - [O.D]_{\text{final}}}{P} \times 100 \text{ en mg/l.}$$

\* Exemples de dilutions pour la mesure de la  $DBO_5$  selon la nature de l'échantillon.

Volume d'échantillon (ml)	Volume d'eau de dilution (ml)	P % dilution	$DBO_5$ (mg/l)	type d'eau
300	0	100	0-35	eaux naturelles
150	150	50		
60	240	20		
30	270	10	20-150	eaux usées épurées
15	285	5		
7,5	292,5	2,5	100-700	eaux usées domestiques
3	297	1		
1,5	298,5	0,5	+ de 400	eaux usées industrielles
0,3	299,7	0,1		

### V-1-3 Facteurs influençant la DBO :

On retrouve ainsi tous les facteurs influençant le pouvoir épurateur d'une eau donnée ; à savoir :

a) Le pH : en dehors des limites 6,5 - 8,3, la DBO mesurée peut ne

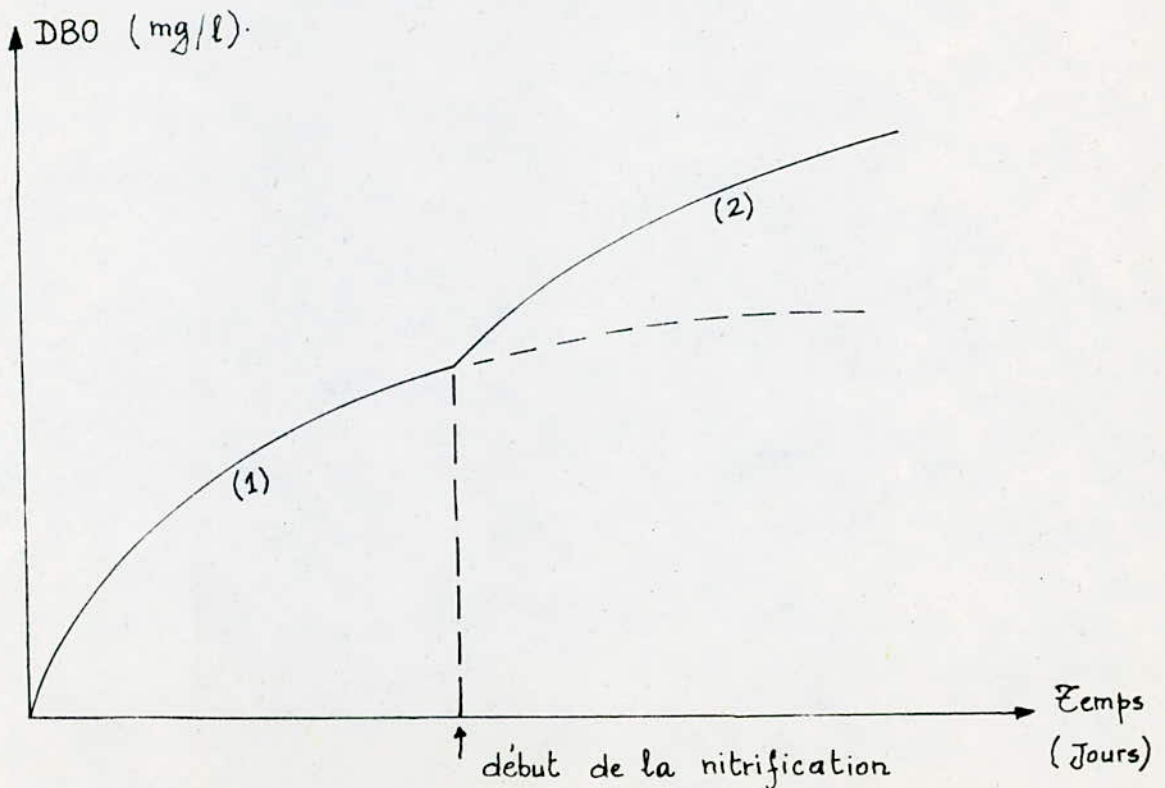
correspondre qu'à une fraction de la DBO réelle.

b) La teneur en sels nutritifs : si le milieu n'est pas assez riche en dérivés azotés et phosphorés, la courbe de DBO croit beaucoup plus lentement et la  $DBO_5$  observée est trop faible.

c) La présence de substances inhibitrices ou de matières peu ou non dégradables : elle se traduit par une période plus ou moins longue d'acclimatation des bactéries.

d) Les microorganismes : Ils doivent être en nombre suffisant. On observe, de plus que le pourcentage de DBO satisfaite en un temps donné augmente avec le degré de diversité des espèces et leur stade d'acclimatation.

e) La possibilité de nitrification : La présence de bactéries nitrifiantes déjà acclimatées affecte grandement la  $DBO_5$  et accélère le processus d'épuration. L'équation de la consommation d'oxygène due à la nitrification est analogue à celle de la DBO et l'on mesure alors le phénomène global.



1) Equation de la DBO seule.

$$L_t = u(1 - 10^{-k_1 t})$$

2) Equation de DBO + equation de nitrification.

$$L_t = u[a(1 - 10^{-k_1 t}) + b(1 - 10^{-k_2 t})]$$

avec :

$t$  : temps exprimé en jours.

$L_t$  : la DBO satisfaite au temps  $t$  (en mg/l).

$u$  : représente la charge organique totale présente dans l'échantillon ; ou la DBO ultime, attribuable aux matières organiques biodégradables. (en mg/l).

$k_1$  : constante de vitesse de désoxygénation, exprimée en inverse de jour,  $d^{-1}$ .

$k_2$  : constante de vitesse de nitrification, exprimée en inverse de jour,  $d^{-1}$ .

$a$  et  $b$  : 2 constantes, paramètres reflétant la contribution de chaque réaction à la consommation totale d'oxygène.

f) La température : par convention, les mesures de DBO sont effectuées à  $20^\circ C$ . Quand la température est supérieure à  $20^\circ C$  les réactions d'oxydation sont accélérées et inversement.

#### V-1-4 Biodégradabilité et demande théorique d'oxygène :

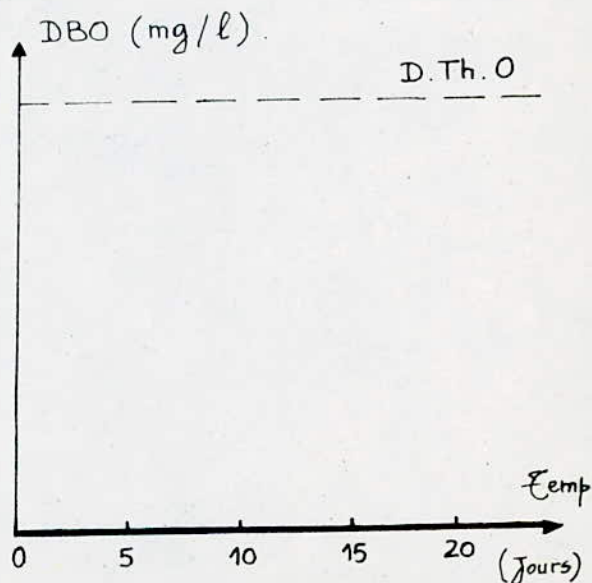
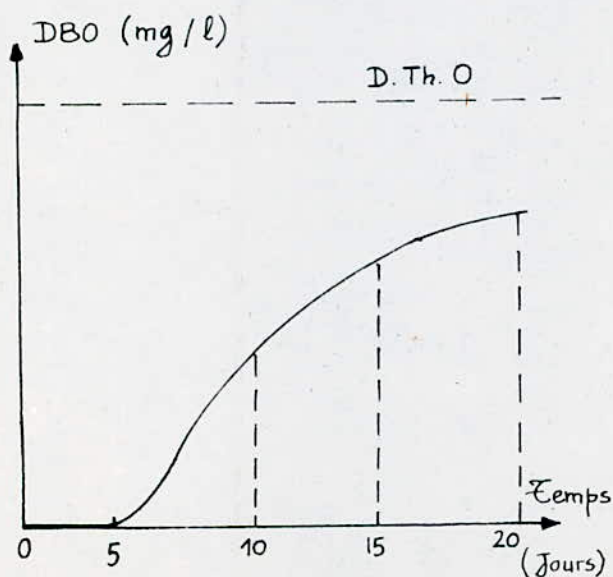
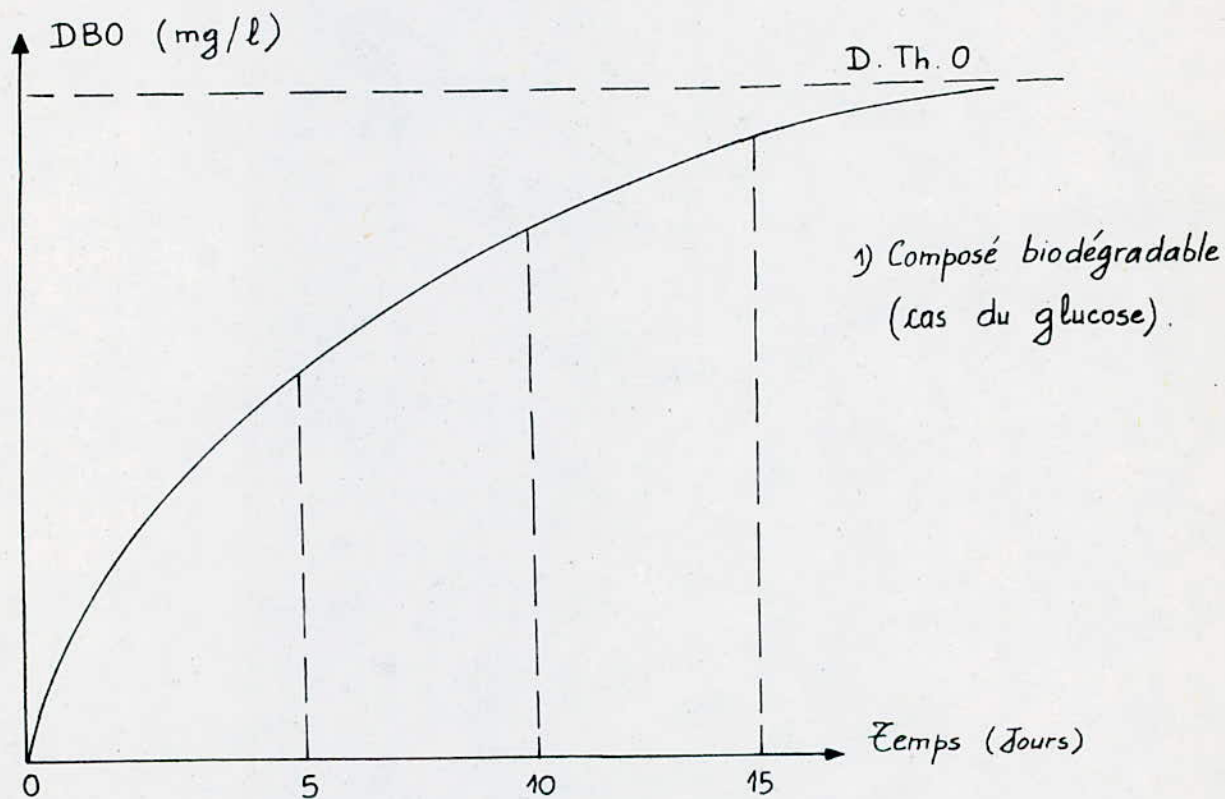
On sait que la DBO ne nous renseigne que sur le contenu biodégradable des eaux. Or, certaines substances, peu biodégradables exigent un certain temps d'acclimatation ou période de latence des bactéries.

On peut étudier le caractère biodégradable d'une substance en ensemençant une solution diluée de ce composé et en mesurant sa DBO, à intervalles de temps réguliers.

Pour une substance pure, on peut calculer la demande théorique d'oxygène ou demande totale : DTO, c'est-à-dire la quantité

d'oxygène requise pour oxyder complètement cette substance, transformer tout le C qu'elle contient en  $\text{CO}_2$ , tout l'H en  $\text{H}_2\text{O}$  et tout l'azote en  $\text{NO}_3^-$ .

\* Exemples explicatifs quant à la relation entre la biodégradabilité et l'allure de la courbe de DBO :



## V - 2 - La demande chimique en oxygène (DCO) :

### V - 2 - 1 Définition - Principe - Intérêt :

La DCO est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux usées qu'elles soient ou non biodégradables. L'oxydation est effectuée ici dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort ( $H_2SO_4$ ) et au reflux pendant 2 heures. Dans ces conditions, la plupart des matières organiques sont oxydées - en  $CO_2$  et  $H_2O$  - à 90 ou 100%.

L'ammoniac n'est pas oxydé, mais les nitrites le sont ; cette demande supplémentaire est négligeable étant la faible valeur des nitrites par rapport à celle des dérivés carbonés. La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels ; surtout ceux à caractère toxique qui se prêtent mal aux mesures de DBO.

La valeur de la DCO, exprimée elle aussi en mg/l d'oxygène, diffère de celle de la DBO. Elle est généralement supérieure, surtout pour les eaux usées domestiques, mais il y a souvent un rapport à peu près constant entre les deux (de l'ordre de 1,5 à 2) pour un même type d'effluent.

Néanmoins, la DCO présente certaines limitations, à savoir, principalement :

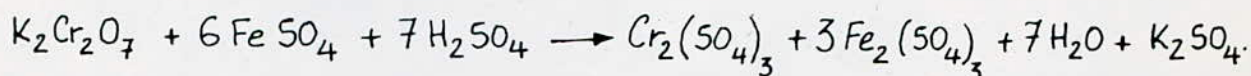
- Le fait que certaines substances résistent à cette oxydation
- L'interférence des nitrites qui peut n'être plus négligeable dans le cas des faibles valeurs de DCO (on élimine alors les nitrites par l'action de l'acide sulfamique).
- L'interférence des chlorures, bromures, iodures. D'une part, ils consomment une fraction du catalyseur (dans ce cas  $Ag_2SO_4$ ) en formant des halogénures d'argent peu solubles, d'autre part (et surtout)

ils risquent dans les conditions de l'expérience, d'être eux-mêmes oxydés ce qui s'ajoute à la demande proprement dite. Pour éviter, cette oxydation, on les complexé par addition de sulfate mercurique  $HgSO_4$ . Cependant, on ne peut obtenir de résultats de DCO vraiment valables pour des teneurs en chlorures supérieures à  $2\text{ g/l}$ .

- Le peu de sensibilité de la méthode pour les faibles valeurs de DCO, inférieurs à  $10\text{ mg/l}$ .

## V-2-2 Mesure de la DCO :

L'échantillon est porté à reflux, en milieu sulfurique concentré, et une présence d'une quantité connue et en excès de bichromate de potassium. Une fois la réaction terminée, on dose le bichromate résiduel par addition de sulfate ferreux, sous forme de sulfate ferreux d'ammonium de normalité connue. Voici la réaction d'oxydo-reduction :



L'indicateur utilisé est la ferroïne. Elle vire du bleu vert au brun rouge en présence de fer ferreux, c'est-à-dire à la fin du dosage du bichromate. On mesure, en fait, par différence la quantité de bichromate consommé. Ses résultats sont exprimés, par analogie avec la DBO, en  $\text{mg/l}$  d'oxygène, c'est-à-dire en prêtant à chaque équivalent de bichromate la masse de 1 équivalent d'oxygène, soit  $8000\text{ mg}$ .

La quantité initiale de bichromate est déterminée grâce à un témoin contenant les mêmes réactifs mais où l'échantillon est remplacé par un volume égal d'eau distillée et soumis au même traitement que l'échantillon. Le procédé permet de tenir compte des pertes inévitables de l'oxydant, même pour une solution n'exerçant aucune demande d'oxygène. La correction doit cependant être faible.

$$DCO = \frac{(V_0 - V_1)}{V_{\text{éch}}} \times N_{\text{SFA}} \times 8000 \quad \text{en mg/l.}$$

avec :

$N_{\text{SFA}}$  : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

$V_{\text{éch}}$  : volume de la prise d'essai en ml.

$V_0$  : volume en ml de SFA lors du dosage du témoin.

$V_1$  : volume en ml de SFA lors du dosage de l'échantillon.

### V-3 Matières en suspension (M.E.S) :

Ce sont les matières qui sont obtenues par filtration puis séchage dans une étuve à 105°C.

En général, ces matières en suspension exprimées en mg/l se décomposent en matières volatiles en suspension (dans certains cas, cette valeur des MVS donne une approximation grossière de la teneur de l'eau en matières organiques) et en matières minérales.



La quantité de M.E.S nous indique la teneur de boues évacuable par décantation.

### V-4 pH - Acidité - Alcalinité :

Le pH est par définition une mesure de l'activité des ions  $H^+$  contenus dans une eau.

$$pH = - \log (H^+).$$

Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Dans les processus biologiques (dont certains exigent des limites très étroites de pH).

- Dans l'efficacité de certains traitements.

La détermination du pH est donc l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment.

Le pH 7 indique une eau neutre.

Le pH inférieur à 7 indique une eau acide.

Le pH supérieur à 7 indique une eau basique.

Les eaux usées urbaines ont un pH proche de la neutralité, de 7 à 7,5 environ. Un pH différent est l'indice d'une pollution industrielle. L'épuration biologique est possible entre pH 6,5 et pH 8,5.

### V - 5 L'Azote et le Phosphore :

Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont les principaux constituants des substances organiques et des matières vivantes.

D'autres éléments interviennent dans cette matière et dans les cycles biologiques d'assimilation, puis de décomposition. Des plus importants sont l'azote et le phosphore ainsi que le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre et quelques autres oligo-éléments.

L'azote et le phosphore sont, de plus, des éléments nutritifs qui jouent un rôle essentiel dans les équilibres biologiques des eaux.

#### V - 5 - 1 L'AZOTE :

L'azote dans les eaux usées se trouve sous forme réduite, organique ou ammoniacale. Dans les cours d'eau, l'ammonisation bactérienne est très rapide et la teneur en azote ammoniacal est bien corrélative à une pollution organique amenée par les égouts.

Dans un milieu aérobie (oxygène dissous abondant), matières organiques et sels ammoniacaux se transforment en nitrites puis en nitrates en consommant de l'oxygène. C'est là le phénomène de nitrification qui recouvre 2 réactions successives. La première, la nitrification est due à l'action de bactéries nitreuses (Nitrosomonas, Nitrosocystis, Nitrospira, etc...). La seconde, nitrification est l'oeuvre de bactéries



des genres : Nitrobacter, Nitrocystis, Bactoderma, Microderma, etc...

Toutes ces bactéries sont autotrophes et aérobies strictes. Elles utilisent l'énergie produite par l'oxydation de l'ammoniaque et des nitrites pour réduire le carbone minéral provenant soit du gaz carbonique, soit des carbonates.

Des conditions favorables sont souvent réunies dans les eaux de surface : forte teneur en oxygène dissous, pollution organique diluée et ne risquant pas d'inhiber l'action des bactéries autotrophes.

La pollution azotée se transforme donc rapidement en nitrates.

Pour que la réaction soit complète, il faut 4,6 mg d'oxygène par mg d'azote à oxyder selon la réaction simplifiée :



Le phénomène de nitrification tend à appauvrir les cours d'eau en oxygène, tout comme l'assimilation de la pollution organique.

## V - 5 - 2 Le PHOSPHORE :

Le phosphore, sous ses différentes combinaisons chimiques (phosphates organiques et phosphates inorganiques), cause de sérieux problèmes dans les cours d'eau et les eaux dormantes qui les reçoivent en stimulant la croissance des algues (eutrophisation). Effectivement, associé à l'azote des nitrates, cet élément nutritif est parfois considéré comme le facteur limite de l'eutrophisation.

Les dérivés phosphatés ont donc une influence considérable sur la fertilité des eaux. Leur dosage revêt une importance considérable dans les eaux usées.

## V - 6 des métaux toxiques ou nuisibles :

Certains métaux ont des effets bénéfiques, du moins à faible concentration (cas des oligo-éléments); cependant à concentration un peu plus élevée, ils peuvent devenir nettement toxiques.

Parmi les métaux les plus dangereux on peut citer le beryllium, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le selenium, l'argent et l'arsenic.

Il importe donc de doser ces éléments avec précision dans les eaux usées afin d'en diminuer les concentrations et d'en restreindre leurs effets néfastes sur l'homme et sur les végétaux.

## Chapitre VI - Microorganismes pathogènes dans les eaux usées et risque sanitaire :

### VI - 1 Liminaire :

Dans le présent chapitre, on tâchera d'expliquer le risque sanitaire et les mécanismes de la transmission hydrique résultant de la présence de microorganismes pathogènes dans les eaux usées tant domestiques que dans les eaux résiduaires à profil mixte.

Le rejet des eaux usées pose un problème sanitaire dû au fait que l'eau de par sa fluidité est un milieu privilégié pour la dispersion et la transmission des microorganismes pathogènes.

### VI - 2 Microorganismes pathogènes dans les eaux usées :

Les eaux usées qu'elles soient à profil mixte ou d'origine domestique sont susceptibles de transporter et de disperser un certain nombre d'éléments pathogènes tels les bactéries, virus, parasites et champignons.

Les microorganismes présentés par classe génériques, sont caractérisés par les critères suivants :

- \* La taille : paramètre essentiel pour certains procédés d'élimination des pathogènes, et qui peut donner une explication à leur évolution dans une station de traitement ou dans le milieu naturel.
- \* Leur résistance : aux agents d'agression extérieurs et notamment aux agents désinfectants.
- \* L'origine : provenance du pathogène ou mode de transmission à l'eau.
- \* Le mode contamination : voie digestive, voie trans-cutanée, contact cutané-muqueux, etc...
- \* L'importance des nuisances qu'ils causent.

## VI - 2 - 1 Les bactéries :

La totalité des bactéries pouvant être présentes dans l'eau usée sont d'origine fécale.

Parmi les principales bactéries pathogènes présentes dans les eaux polluées on distingue : *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Escherichia coli* (types pathogènes), *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Leptospira*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Yersinia enterocolitica*, etc...

## VI - 2 - 2 Les virus :

Plus d'une centaine de virus connus peuvent être excrétés avec les fèces humaines.

Parmi les virus pouvant être présents dans les eaux usées et polluées seuls les virus enteriques sont spécifiquement porteurs de maladies hydriques. De ces virus enteriques, on citera : les entérovirus (poliovirus, échovirus, virus coxsackie A, virus coxsackie B), les virus de la gastro-enterite, les rotavirus, les réovirus, adenovirus, parvovirus, ...

### VI - 2 - 3 Les parasites :

La majorité des parasites présents dans les eaux usées sont pathogènes. On distingue les protozoaires qui sont unicellulaires et les métazoaires qui sont pluricellulaires. Certains parasites ont des hôtes intermédiaires (escargots, bétail, poissons, ...).

Parmi les plus importants parasites transmis par les eaux usées, on notera : les protozoaires (*Amoeba histolytica*, *Giardia lamblia*), les trématodes (*Schistosoma mansoni* et autres ...), les cestodes (*Taenia saginata*, *Diphyllobotrium latum*), les nématodes (*Ascaris*, *Anchylostomum*, *Tricuris*, *Oxyuris*, *Dracunculus medinensis*).

### VI - 2 - 4 Champignons et levures :

Les champignons et levures pathogènes pour l'homme provoquent essentiellement des affections cutanées. Parmi ceux-ci, on peut citer *Candida Albicans* qui affecte la cavité bucale, le tube digestif et la peau.

### VI - 3 Evolution des microorganismes pathogènes dans les eaux usées et le milieu naturel :

Les eaux de par leur fluidité reçoivent, transportent et ensuite disseminent les différents microorganismes pathogènes qu'ils soient d'origine fécale, urinaire ou cutanée.

Pour la plupart de ces microorganismes, l'eau est considérée comme un milieu de survie. D'autre part, on remarque que la concentration des éléments pathogènes dans les eaux usées a tendance à diminuer du fait d'une dispersion dans les milieux récepteurs moins pollués, et de la mortalité de ces microorganismes. La durée de survie des microorganismes pathogènes dans l'eau

dépend principalement des facteurs de résistance de ces derniers.

A ce titre, les virus entériques, les kystes et les oeufs de parasites paraissent les plus résistants dans les eaux usées. La survie dépend aussi des caractéristiques du milieu receveur. La température, la composition chimique, la teneur en matières organiques polluantes de l'eau influent la durée de survie. Les rayonnements ultra-violet et les phénomènes de concurrence vitale par des espèces mieux adaptées au milieu, peuvent aussi modifier la durée de la survie.

Dans certains cas, on peut observer une reconcentration des germes pathogènes. Cela peut être le cas au niveau des sédiments des milieux receveurs.

#### VI - 4 Evaluation pratique du risque épidémiologique:

Le dénombrement des pathogènes est difficile et imprécis en raison de leur nombre trop faible et de leur présence aléatoire.

Cette présence limitée, assez rassurante en soi, pose des problèmes analytiques importants au niveau:

- Des échantillonnages: isotropie non admissible d'où nécessité de prélèvements de grands volumes ou multiplication des prélèvements.
- Des techniques d'analyses: limitation à de faibles prises d'essais; problèmes de compétitions bactériennes et d'éventuelles inhibitions.

Par ailleurs, la recherche exclusive de pathogènes dont la présence est aléatoire dans le temps, ne favorise pas la connaissance préventive des problèmes et des situations. Aussi, est-on amené à remplacer la recherche ou le dénombrement direct des germes pathogènes par le dénombrement de "germes indicateurs".

Les germes choisis ou utilisés pour servir d'indicateurs sont: non pathogènes, abondants, dénombrables facilement.

Leur présence ou leur comportement donne une information sur la présence ou le comportement des germes pathogènes pris de manière spécifique (un seul microorganisme pathogène) ou globale (plusieurs microorganismes pathogènes).

L'information sur la présence ou le comportement des pathogènes introduit 2 notions d'indicateurs en relation avec le problème général des eaux usées et de leur désinfection. Ce sont :

- Les indicateurs de risque ou de pollution.
- Les indicateurs d'efficacité de traitement d'épuration.

A ces 2 notions correspondent 2 catégories d'indicateurs, mais certains microorganismes peuvent appartenir sous certaines conditions aux 2 catégories.

## B - ETUDE EXPERIMENTALE.

### Chapitre I - Protocole Experimental :

Notre étude a pour objectif la détermination des conditions optimales pour certains facteurs influençant la biodégradabilité afin d'atteindre le meilleur taux d'épuration possible de l'eau dont on veut réduire la charge polluante.

Dans ce cadre, notons que l'eau dont nous étudierons la traitabilité biologique sera spécifiquement une eau résiduaire émanant d'une industrie alimentaire. Ce sera donc une eau brute à caractère organique dominant.

L'expérience ayant lieu dans son intégralité au niveau du laboratoire, nous avons jugé meilleur et plus prudent de synthétiser notre eau ; ceci afin d'éviter tout éventuel risque sanitaire.

Ainsi, pour ne pas courir un quelconque problème de contamination que présenterait une eau fraîchement recueillie, nous avons opté pour la synthèse de notre milieu.

Tout au long de cette procédure, nous avons veillé à reproduire au mieux la constitution physico-chimique ainsi que les caractéristiques analytiques de notre eau conformément à la nature.

Cependant, nous nous sommes confrontés à un problème vite résolu. Il fallait ensemercer notre milieu afin d'amorcer le processus épuratoire. Dans cette optique, et vu que notre eau est chargée d'une pollution organique, l'ensemencement bactérien était facilité.

Plusieurs sources d'ensemencement se présentaient, et parmi celles-ci on a choisi : l'inoculation dans notre milieu du surnageant d'un échantillon d'eau prélevé depuis un effluent

d'eaux résiduaires urbaines ; dans un rapport de 5 à 10 ml par litre du milieu.

L'adaptation rapide de l'ensemencement bactérien est assurée par le caractère organique facilement biodégradable de notre charge polluante.

Les péripiétés de l'expérience ont démontré la validité et l'adéquation de l'inoculum bactérien ainsi que son acclimatation rapide.

## Chapitre II - Présentation du modèle réduit :

L'étude simulative d'une eau à caractère organique dominant nous amena à façonner un modèle réduit dans lequel sera synthétisé et sera suivie l'évolution au cours du temps, de notre milieu pollué.

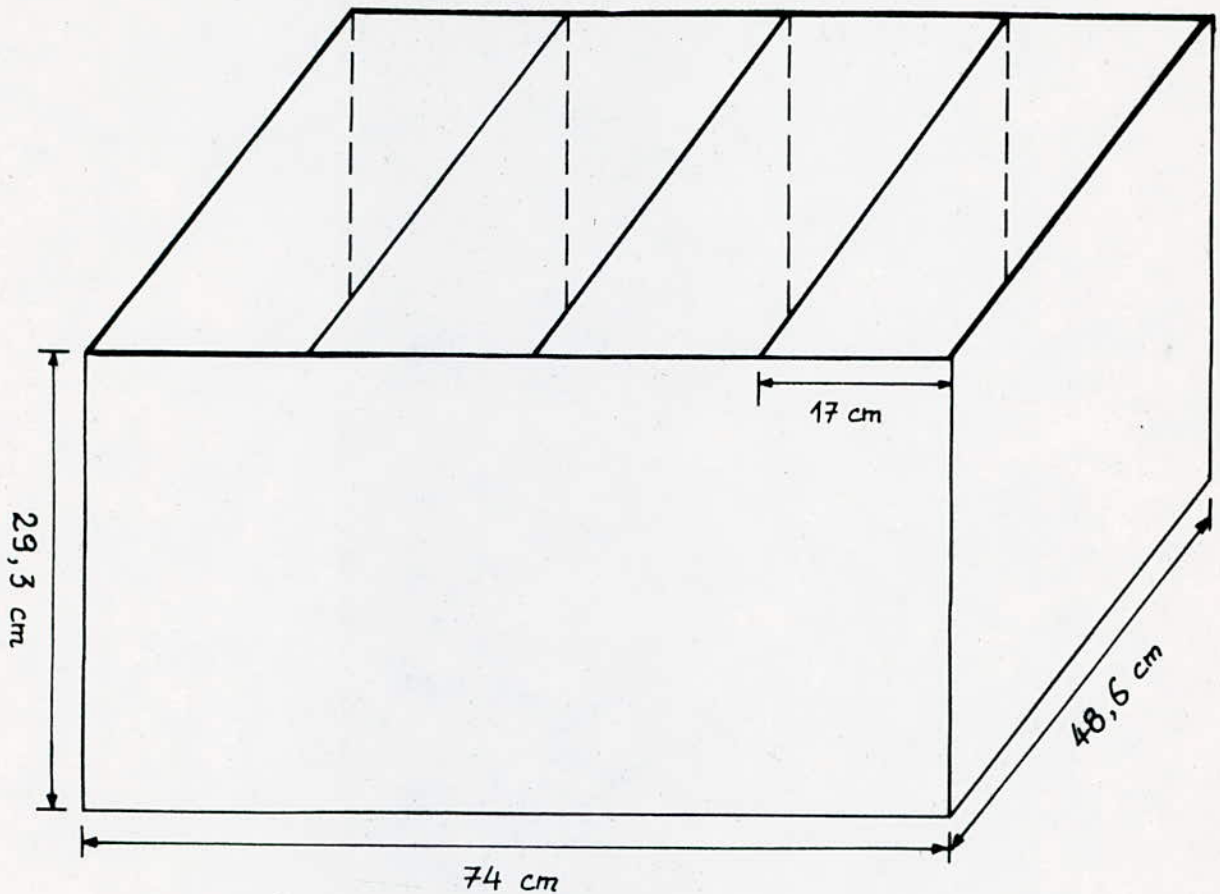
Pour cela, nous avons récupéré au niveau du laboratoire un réacteur en plexiglas ; lequel a été départagé sur toute sa longueur en 4 bacs expérimentaux de dimensions réduites.

Cela s'est opéré par collage avec une seringue chloroformée, sachant que le chloroforme est un solvant du plexiglas donc nous garantissant une étanchéité assurée.

Notons toutefois que l'élaboration du modèle réduit a été compliquée par la présence au fond du bac original, d'une fine tuyauterie. Il fallait bien sûr composer et procéder au collage en tenant compte de cet aléa.

Le modèle réduit sera schématisé comme suit :





\* Schématisation du modèle réduit.

Ainsi chaque bac réservé à accueillir le milieu synthétique aura les dimensions suivantes  $L \times l \times h = 48,6 \text{ cm} \times 17 \text{ cm} \times 29,3 \text{ cm}$ .

Néanmoins la hauteur du milieu pollué synthétique dans chaque bac sera  $h' = 20 \text{ cm}$  ; ceci pour éviter au cours des diverses manipulations tout risque de débordement.

Le volume de chaque bac sera donc :  $V_0 = L \times l \times h'$

$$V_0 = 48,6 \times 17 \times 20 = 16490 \text{ cm}^3$$

$$V_0 = 16,5 \text{ l}$$

### Chapitre III - Synthèse du milieu pollué :

La synthèse d'une eau résiduaire émanant d'une industrie alimentaire nous dicte à simuler le profil d'une eau à caractère organique dominant.

Ces eaux très fermentescibles et généralement équilibrées du point de vue des éléments de croissance, se prêtent en général bien aux traitements biologiques.

Les DBO<sub>5</sub> peuvent être énormes, atteignant plusieurs grammes par litre.

Lors de cette synthèse, nous procédons par simuler la réunion de la pollution organique de divers effluents industriels tels que sucreries, conserveries (viandes), laiteries et amidonneries... etc.

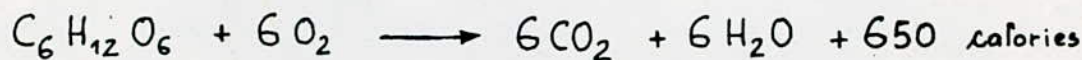
Dans ce cas, les principaux polluants sont donc des solides en suspension ou à l'état colloïdal, hydrates de carbone, protéines et quelques graisses. Et le plus représentatif de ces hydrates de carbone est sans conteste le glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).

Ainsi pourrions-nous calculer la masse de matière sèche à faire dissoudre dans nos 4 bacs expérimentaux.

Notons que la 4<sup>e</sup> variante recevra le 1/10 de pollution organique injectée dans les 3 premières; c'est-à-dire qu'on procède à une dilution de la variante avec un pourcentage de dilution P = 10%

\* Calcul de la quantité de matière sèche à inoculer dans les 3 premiers bacs :

Pour cela, dans notre eau usée synthétique, on étudie l'oxydation totale du glucose; celle-ci s'opère comme suit :



(réaction aérobie).

C'est à dire qu'à 180 gr/mol (masse molaire) du glucose, il faut fournir  $6 \times 32 = 192$  gr/mol d'oxygène.

Donc on a :

$$\begin{array}{ccc} 180 \text{ gr/mol} & \longrightarrow & 192 \text{ gr/mol} \\ \varepsilon & \longrightarrow & 1400 \text{ mg/l d'O}_2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{1400 \times 180}{192} = 1312,5 \text{ mg/l de matière sèche.}$$

Il nous faut inoculer une masse  $m_0 = 1312,5$  mg par litre d'eau pour atteindre une demande biochimique en oxygène théorique notée ( $DBO_{ULT}$ ) de l'ordre de 1400 mg/l d'O<sub>2</sub>.

Cette demande  $DBO_{ULT}$ , théorique et approximative est fixée par nous. Cet ordre de grandeur correspond d'ailleurs exactement à la mesure de DBO relevée expérimentalement sur le type d'eaux usées industrielles à caractère organique dominant.

Pour la 4<sup>e</sup> variante, la demande théorique en oxygène sera :

$$DBO'_{ULT} = DBO_{ULT} \cdot P = 1400 \cdot 0,1 = 140 \text{ mg/l d'O}_2.$$

$$DBO'_{ULT} = 140 \text{ mg/l d'O}_2.$$

La matière sèche à faire dissoudre dans notre eau est issue des composés suivants :

- Amidon soluble.
- extrait de viande sec.
- extrait de jus d'orange sec.
- poudre de lait entier.

Notons que ces 4 composés sont facilement solubles dans l'eau. Chaque élément de ces composés rentre dans la proportion de 25% dans la composition finale de la matière sèche à inoculer dans chaque bac.

\* Calcul de la matière sèche à inoculer dans les trois (03) premiers bacs :

$$M = 3 \times V_0 \times m_0$$

$$M = 3 \times 16,5 \times 1312,5 \approx 64969 \text{ mg.}$$

$$M \approx 65 \text{ gr.}$$

- Quantité de matière sèche à faire dissoudre dans la 4<sup>ème</sup> variante :

$$m' = P \times V_0 \times m_0$$

$$= 0,1 \times 16,5 \times 1312,5 \approx 2166 \text{ mg}$$

$$m' \approx 2,17 \text{ gr.}$$

Une fois la matière sèche en quantité rationnellement calculée et après complète dissolution, rien ne garantit sa décomposition quoique facilement biodégradable.

Il nous fallait inoculer une quantité de microorganismes pour assurer cette biodégradation. Aussi avons-nous convenu d'ensemencer notre milieu par addition d'une souche bactérienne mixte contenue assurément dans un échantillon d'eau usée urbaine fraîchement recueilli. Dans notre cas, l'échantillon a été prélevé au niveau de l'Oued El-Harrach.

L'échantillon est laissé décanter pendant 2 heures environ.

Après quoi on recueille le surnageant de l'échantillon qu'on inocule immédiatement dans nos bacs d'expérimentation.

A cet effet ; le volume du surnageant recueilli est de 500 ml injecté uniformément dans les 4 bacs de 16,5 litres chacun.

Le rapport eau d'ensemencement / eau du milieu sera calculé comme suit :

$$\alpha = \frac{\text{Volume d'eau d'ensemencement.}}{\text{Volume d'eau du milieu à ensemenecer}} = \frac{500 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 16,5}$$

$$\alpha = 7,6 \text{ ml / litre d'eau du milieu.}$$

Notons que puisque toute la matière organique est biodégradable on a :

$$DCO / DBO_{ULT} \approx 1$$

C'est-à-dire que :  $DCO \approx DBO_{ULT} = DBO_{20} = 1400 \text{ mg/l d'O}_2$

Remarque : Les valeurs de DCO,  $DBO_{ULTIME}$  et  $DBO_{20}$  sus-citées sont théoriques et approximatives.

Pour ce qui est des apports en azote et en phosphore, ceux-ci sont essentiellement assurés par les protéines contenues dans la matière organique dissoute (surtout le lait entier en poudre et l'extrait de viande de bœuf sèche).

Dans tous les cas, il faudra atteindre les proportions limites suivantes :

$$DCO / N < 30 \quad \text{et} \quad DCO / P < 150$$

La composition biochimique du lait entier en poudre et de l'extrait de viande sèche nous <sup>donne</sup> les taux de protéines brutes et de phosphore suivants :

$$\text{Lait en poudre} \begin{cases} \text{Protéines} = 28\% \\ P = 0,68\% \end{cases} \quad \text{Extrait de viande} \begin{cases} \text{Protéines} = 58,2\% \\ P = 4\% \end{cases}$$

Nous savons aussi, par Kejdahl, que le taux de matières azotées totales ou protéines brutes est obtenu par conversion en multipliant le taux d'azote total (N) par le coefficient 6,25.

$$\text{Donc : } \% N = \frac{\% \text{ Protéines}}{6,25}$$

$$\text{d'où : } \begin{cases} N = 4,48\% \\ P = 0,68\% \end{cases} \quad \text{Extrait de viande} \begin{cases} N = 9,31\% \\ P = 4\% \end{cases}$$

\* Apports en masse de N et P pour un litre du milieu synthétique fournis par la masse du lait en poudre :

$$m_N = \frac{4,50}{100} \times \frac{25}{100} \times m_0 = \frac{4,50 \times 25 \times 1312,5}{100 \times 100} = 14,80 \text{ mg/l.}$$

$$m_P = \frac{0,68}{100} \times \frac{25}{100} \times m_0 = \frac{0,68 \times 25 \times 1312,5}{100 \times 100} = 2,23 \text{ mg/l.}$$

\* Apports en N et P fournis par la masse d'extrait de viande pour un litre du milieu synthétique :

$$m'_N = \frac{9,30}{100} \times \frac{25}{100} \times m_0 = \frac{9,30 \times 25 \times 1312,5}{100 \times 100} = 30,50 \text{ mg/l.}$$

$$m'_P = \frac{4}{100} \times \frac{25}{100} \times m_0 = \frac{4 \times 25 \times 1312,5}{100 \times 100} = 13,12 \text{ mg/l.}$$

• Apport total en N et P dans un litre du milieu synthétique fourni par la matière sèche inoculée :

$$M_N = m_N + m'_N = 45,30 \text{ mg/l de N.}$$

$$M_P = m_P + m'_P = 15,35 \text{ mg/l de P.}$$

Voyons maintenant si les 2 relations régissant les apports en N et P sont vérifiées :

$$\frac{DCO}{N} = \frac{1400}{45,3} = 30,9 \approx 30$$

$$\frac{DCO}{P} = \frac{1400}{15,35} = 91 < 150.$$

Les proportions limites d'Azote et de Phosphore sont donc atteintes. Le milieu synthétique est dans ce cas équilibré du point de vue nutriments.

Ainsi le milieu synthétique réparti dans les 4 bacs est fin prêt. A ce moment on procède à une franche agitation manuelle de quelque une dizaine de minutes, afin d'homogénéiser notre milieu. Et après une journée (24<sup>h</sup> environ) d'acclimatation, le processus d'épuration est engagé grâce à l'activité enzymatique des microorganismes inoculés.

L'amorçage du phénomène d'épuration biologique est prouvé par l'apparition de floccs bactériens dans nos bacs d'expérimentation. D'ailleurs lors des premiers jours suivant l'amorçage du processus épuratoire, la turbidité de notre milieu va en croissant; ceci est constaté facilement de visu.

#### Chapitre IV - Cinétique du processus épurateur:

On entend par cinétique du processus épurateur l'évolution au cours du temps, d'un des paramètres analytiques caractérisant notre milieu synthétique.

Pour mettre en évidence cette cinétique, nous avons choisi les critères nous renseignant le plus et le mieux sur le rendement de l'épuration biologique.

Ces critères sont respectivement la DCO,  $DBO_5$ , M.E.S et  $NH_4^+$ ; leurs variations en fonction du temps nous reproduisent la cinétique du processus d'épuration.

C'est dans cette optique que nous avons départagé notre réacteur en 4 bacs correspondant chacun à une variante.

Les variantes seront chacune étudiée séparément.

Ainsi dans chaque bac nous jouerons sur les variations d'un facteur bien défini tout en fixant le restant des facteurs influençant le pouvoir épurateur du milieu.

Notre travail expérimental proprement dit portera donc sur l'étude des 4 variantes suivantes :

- \* 1<sup>ère</sup> variante : Etude du processus épurateur sous le seul effet des microorganismes purificateurs assimilant l'oxygène atmosphérique qui diffuse par la surface libre du milieu.
- \* 2<sup>e</sup> variante : Etude du processus épurateur sous l'effet d'une agitation continue "manuelle" (aération de surface).
- \* 3<sup>e</sup> variante : Etude de la cinétique d'épuration sous l'effet d'une aération de fond (insufflation d'air).
- \* 4<sup>e</sup> variante : Dilution du milieu pollué au  $\frac{1}{10}$  ( $P = 10\%$ ) et étude du phénomène d'épuration sous le seul effet des microorganismes purificateurs assimilant l'oxygène de l'air qui diffuse par la surface libre du milieu.

## Chapitre V - Méthodologie expérimentale :

### V-1 Prélèvements et échantillonnages :

Nous devons observer un soin particulier à chaque prélèvement de nos échantillons.

L'échantillon doit être homogène et représentatif et ne pas modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de notre milieu.

Dans notre cas, l'échantillonnage s'est fait à des intervalles constants dans le temps et l'espace pour chaque variante. Le nombre de prélèvements par variante est de 6, et chaque prélèvement est constitué de 5 échantillons de 50 et 100 ml chacun.

Notons qu'avant chaque prélèvement nous procédons à une vive agitation afin d'assurer l'homogénéité et la représentativité de nos échantillons.



## V - 2 Programme des analyses :

Les analyses que nous avons effectuées sont au nombre de 4.  
Ce sont les suivantes :

- La demande chimique en oxygène (DCO) ; déterminée par la méthode au dichromate de potassium.
- La demande biochimique en oxygène ( $DBO_5$ ) ; déterminée par la méthode par dilution.
- Les matières en suspension à  $105^\circ\text{C}$  (M.E.S) ; déterminées par la méthode par filtration.
- L'azote ammoniacal  $N. NH_4^+$  , déterminé par la méthode volumétrique après distillation.

Notons aussi qu'à chaque prélèvement nous avons relevé le pH et la température régnant dans nos échantillons.

## Chapitre V.3 Etude expérimentale de la 1<sup>ère</sup> variante :

### V.3.1 - Introduction :

L'eau usée synthétique contenue dans le bac d'expérimentation est laissée stagner pendant 1 jour afin de permettre à l'ensemencement bactérien une bonne acclimatation.

Après cela, nous procédons au 1<sup>er</sup> prélèvement. La durée d'échantillonnage s'étalera sur une semaine ; à raison d'un prélèvement par jour.

Pour cette 1<sup>ère</sup> variante, nous établirons la cinétique du processus épurateur aérobie et calculerons le rendement d'épuration sous le seul effet de l'activité enzymatique des microorganismes purificateurs.

La source d'oxygène dans ce cas, sera l'oxygène dissous dans le milieu synthétique ainsi que l'oxygène atmosphérique diffusant à travers la couche superficielle du milieu pollué.

### V.3.2 Expression des résultats :

Les résultats de nos divers dosages et analyses sont exprimés dans un tableau récapitulatif figurant sur la feuille suivante.

Tableau de Résultats - 1<sup>re</sup> variante -

Jours de prélèvement	T° (°C)	pH	M.E.S (mg/l)	DCO (mg/l d'O <sub>2</sub> )	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
Jour 1	16,4	7,28	96	1228	792	58,5
Jour 2	16,4	7,30	134	-	-	55,1
Jour 3	16,4	7,11	183	1124	-	53,2
Jour 4	16	7,40	159	1090	684	51,7
Jour 5	16,4	7,68	135	1060	-	50,4
Jour 6	16	7,72	130	998	627	48,9

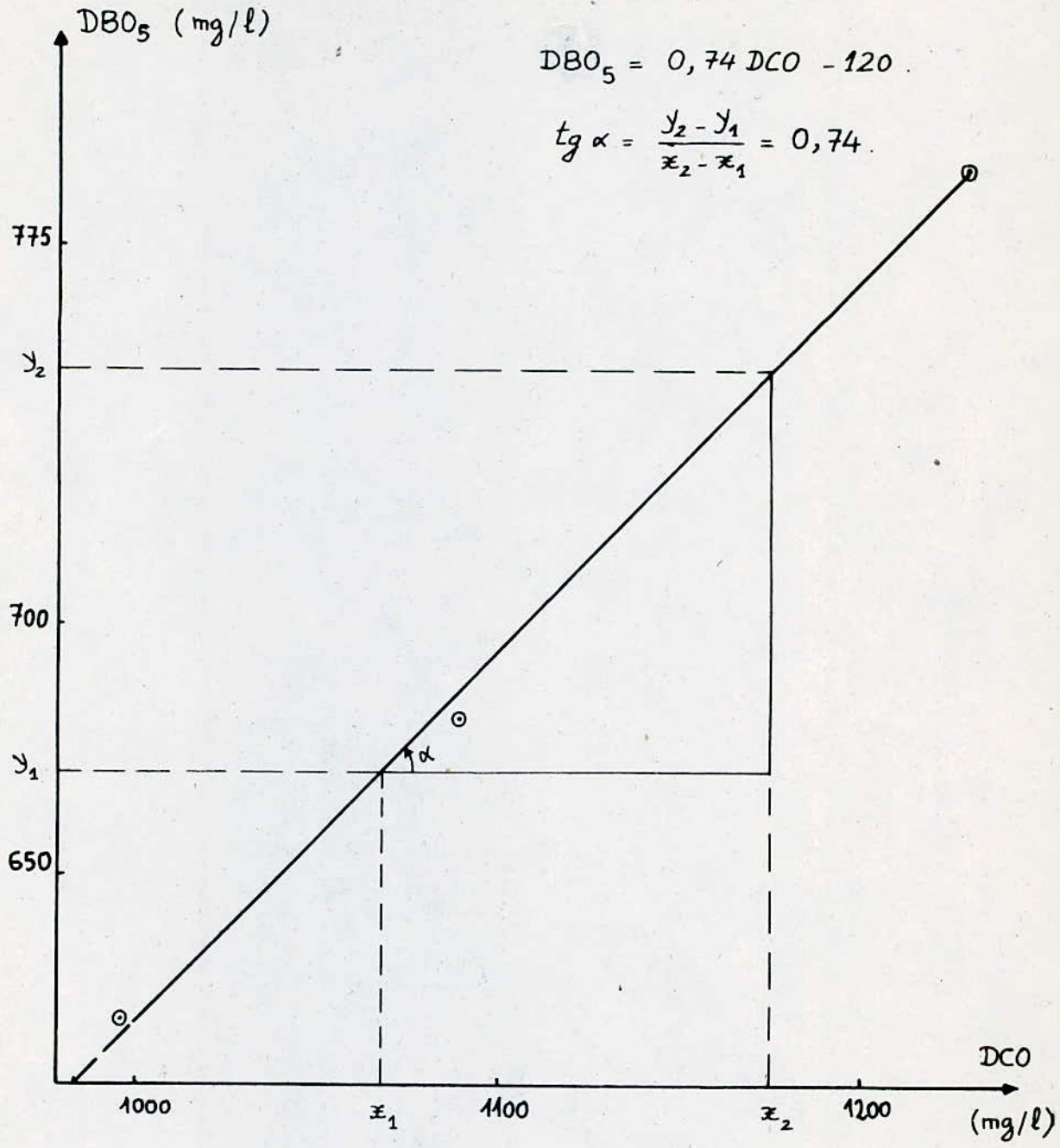


fig.1 - Recherche de corrélation entre  $DBO_5$  et  $DCO$ .  
( Variante 1 ).

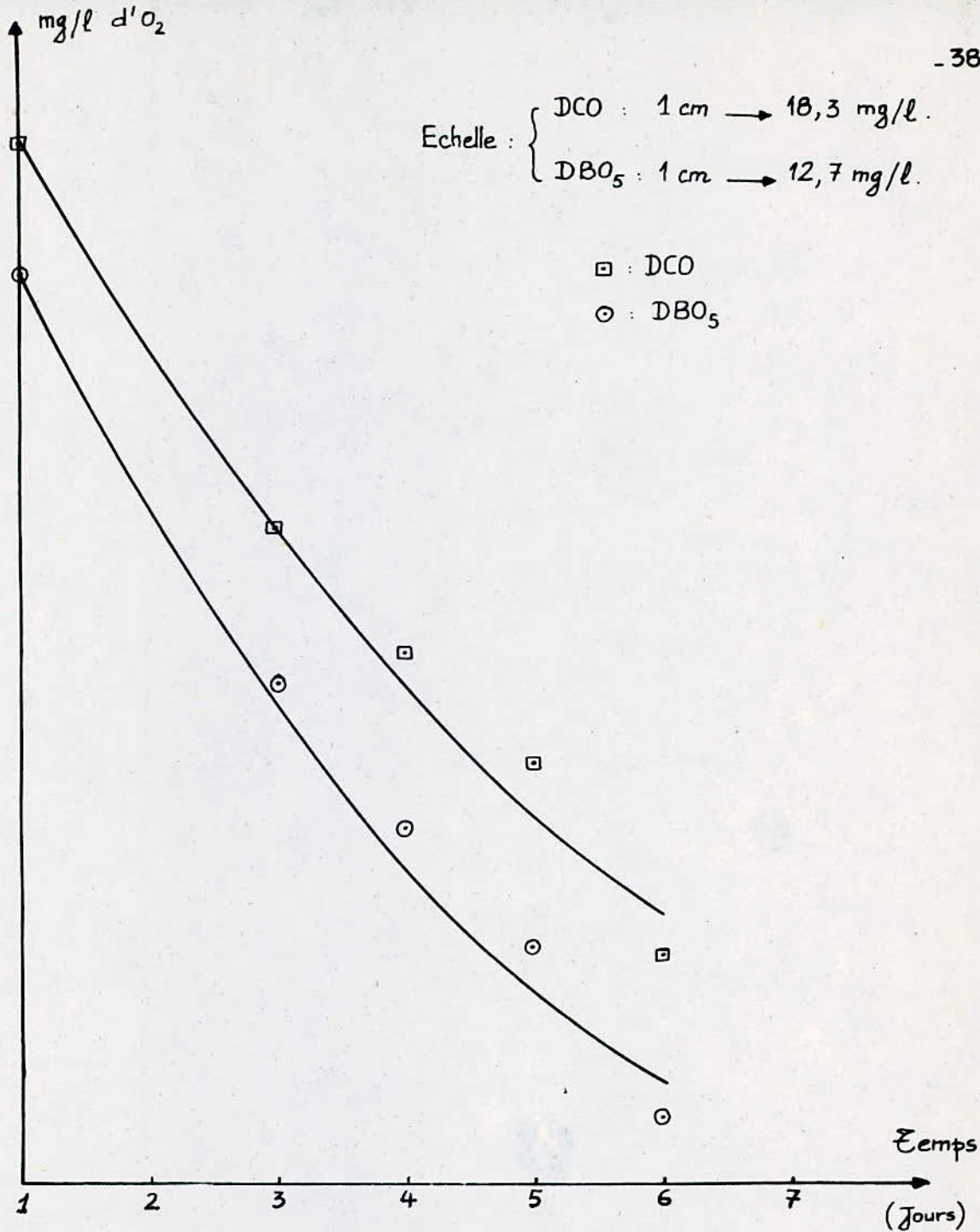


fig. 2 - Variation de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO en fonction du temps.  
(variante 1)

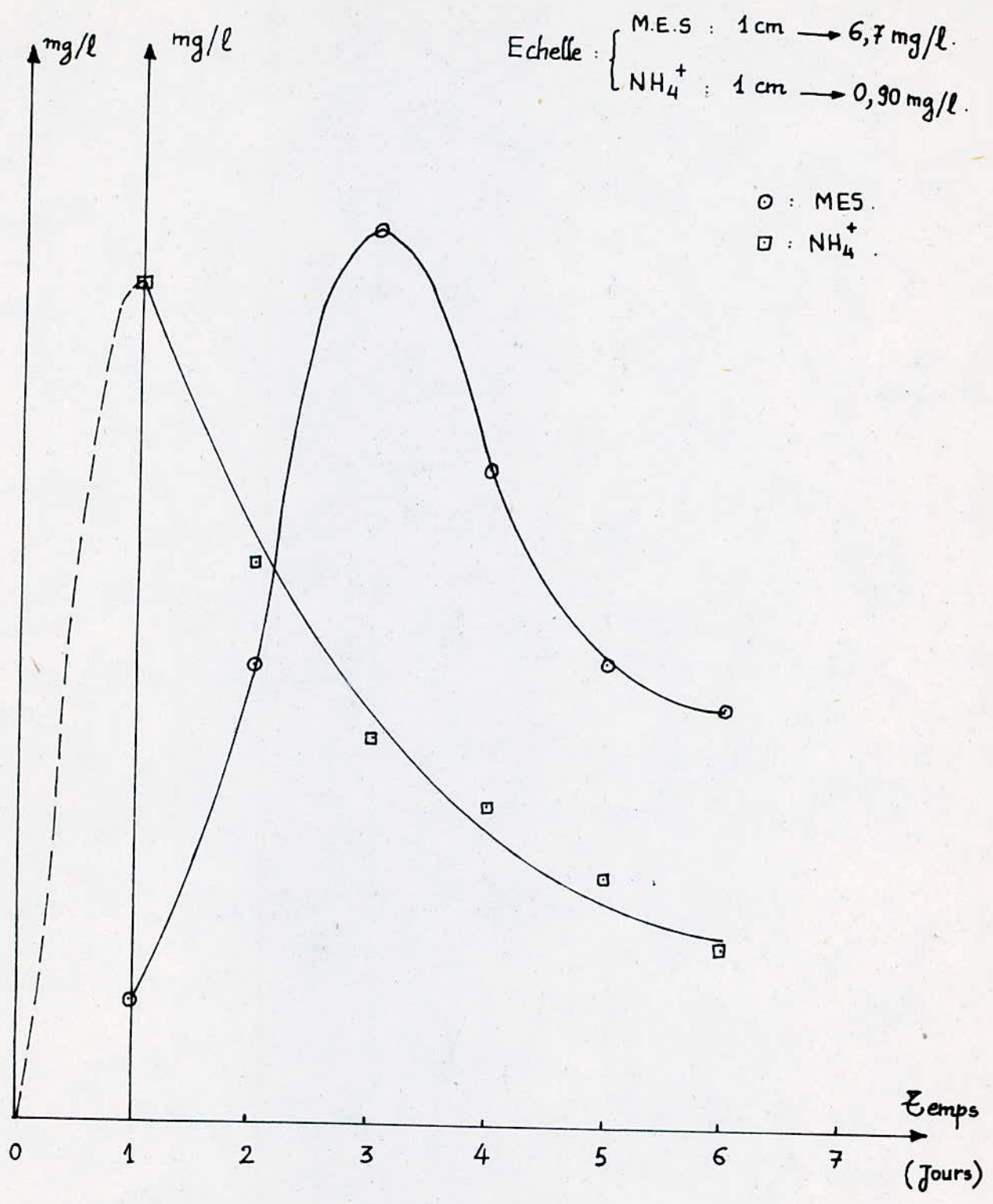


fig. 3 - Evolution des M.E.S et de la pollution azotée en fonction du temps.  
(Variante 1)

### V.3.3 Discussion et analyse des résultats :

- Le pH pendant les prises d'échantillons est toujours proche de la neutralité. La température n'a pas tellement varié. Elle est propice pour un travail convenable des microorganismes.

- Corrélation  $DBO_5$  / DCO :

Si l'on part de la constatation que les différents tests globaux dont on dispose ont des temps de réponse très variables :

- . 5 jours pour la  $DBO_5$ .
- . 2 heures pour la DCO.

On pourrait alors opérer de sorte que les tests lents dont la signification physique est très importante en particulier la  $DBO_5$  ; pourraient être obtenus en utilisant des courbes de corrélation, à partir des paramètres à acquisition plus ou moins rapide.

Sur notre graphe reproduisant la corrélation  $DBO_5$  / DCO, on constate que la relation liant les 2 paramètres est sensiblement linéaire et correspond à une équation du type

$$y = ax \pm b$$

Pour notre cas, on tire du graphe :

$$DBO_5 = 0,74 DCO - 120$$

Cette relation va nous permettre de déterminer toutes les  $DBO_5$  manquantes sachant les DCO correspondantes.

Notons toutefois que la corrélation  $DBO_5$  / DCO en général, est la moins intéressante car concernant les 2 mesures les plus longues à réaliser.

### - Dépollution carbonée :

L'origine industrielle de notre milieu nous aurait normalement incité à discuter de l'évolution de la DCO ; néanmoins vu le caractère organique dominant de notre pollution, la  $DBO_5$  est aussi meilleur critère à utiliser afin de suivre la cinétique du processus épurateur.

Ainsi, nous constatons que la  $DBO_5$  tout comme la DCO suit une décroissance exponentielle du type :

$$d_t = d_0 e^{-kt}$$

avec :

- $d_0$  : concentration en  $DBO_5$  initiale
- $d_t$  : concentration en  $DBO_5$  au temps  $t$ .
- $t$  : temps en jours.
- $k$  : coefficient de dégradation de la  $DBO_5$  en  $j^{-1}$ .

Nous remarquons que la  $DBO_5$  diminue plus nettement lors des premiers jours car jusque là l'O.D et le substrat sont abondants ; ce qui permet un développement et une activité rapides de la masse bactérienne.

A partir du 3<sup>e</sup> jour, nous observons une diminution lente de la pollution carbonée, et un plafonnement des MES est constaté. On est en pleine phase de croissance ralentie des bactéries purificatrices. Le ralentissement de la croissance bactérienne est certainement dû à une carence du milieu en O.D.

Notons aussi qu'au niveau du 4<sup>e</sup> jour, la turbidité du milieu s'estampe légèrement. La masse des MES diminue progressivement. Une odeur faiblement mausembrée commence à se dégager. Le milieu est alors exempt d'O.D.



En ce qui concerne la dépollution azotée, celle-ci suit une décroissance exponentielle, et présente une similitude presque parfaite avec la variation de la DCO au cours du temps. La dépollution azotée est donc régie selon les mêmes mécanismes que la dépollution carbonée.

\* Calcul du rendement d'épuration :

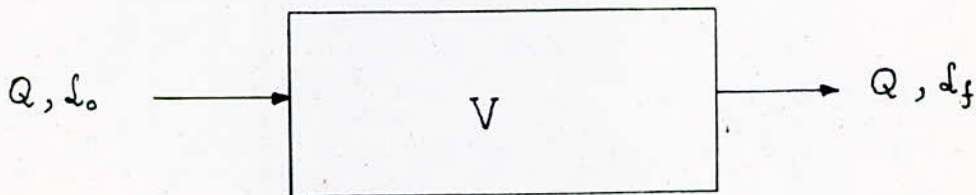
$$\eta = \frac{DBO_5 \text{ initiale} - DBO_5 \text{ finale}}{DBO_5 \text{ initiale}} \times 100$$

$$= \frac{792 - 627}{792} \times 100 = 20,83 \%$$

$$\eta = 20,80 \%$$

\* Calcul du coefficient de dégradation de la DBO :

En établissant un bilan global des matières dégradées, on a :



avec :

$L_0$  et  $L_f$  les concentrations en  $DBO_5$  à  $t_{\text{initial}}$  et à  $t_{\text{final}}$ .

$Q$  étant le débit d'entrée ainsi que celui de sortie.

$V$  est le volume du bac d'expérimentation.

$$Q \cdot L_0 \cdot dt - Q \cdot L_f \cdot dt - V \cdot L_f \cdot k \cdot dt = 0$$

en divisant les 2 membres de cette relation par  $Q$  on a :

$$L_0 \cdot dt - L_f \cdot dt = \frac{V}{Q} \cdot L_f \cdot k \cdot dt$$

avec :  $\frac{V}{Q} = t = \text{temps de séjour (en jours)}$ .

Il vient donc :

$$(L_0 - L_f) \cdot dt = t \cdot L_f \cdot k \cdot dt$$

$$\Rightarrow k = \frac{L_0 - L_f}{t \cdot L_f}$$

Application numérique :

$$k = \frac{792 - 627}{5 \cdot 627} = 0,053 \text{ j}^{-1}$$

$$k = 0,053 \text{ j}^{-1}$$

#### V - 3 - 4 Conclusion :

Le taux d'épuration ainsi que le coefficient de dégradation de la matière organique sont faibles. Ceci s'explique par la distorsion pollution organique abondante - O.D insuffisant.

Le caractère stagnant de cette variante ainsi que la relative abondance des MES fait que l'oxygène atmosphérique diffuse très mal à travers la couche superficielle.

Cette distorsion affecte énormément notre milieu. Dès le 4<sup>e</sup> jour une odeur nauséabonde commence à se dégager.

Le réacteur travaille en anaérobiose.

## Chapitre V - 4 Etude expérimentale de la 2<sup>e</sup> variante :

### V - 4 - 1 Introduction :

L'eau usée synthétisée est laissée stagner durant une journée afin d'assurer l'acclimatation de la masse bactérienne inoculée dans le milieu. Après quoi, on opère le 1<sup>er</sup> prélèvement. La durée d'échantillonnage prendra 6 jours ; à raison d'un prélèvement par jour.

Pour cette variante, l'évolution du processus épurateur aérobie ainsi que la détermination du rendement d'épuration seront établies sous l'influence d'une agitation "manuelle" de notre milieu. Cette aération de surface aura un objectif qui consiste à provoquer un brassage et une homogénéité suffisants pour assurer un contact intime entre le milieu vivant, les éléments polluants et l'oxygène introduit.

### V - 4 - 2 Expression des résultats :

Les résultats de nos différents dosages et analyses sont exprimés dans un tableau récapitulatif figurant sur la feuille qui suit.

Tableau de Résultats - 2<sup>e</sup> variante -

Jours de prélèvement	T: (°C)	pH	M.E.S (mg/l)	DCO (mg/l d'O <sub>2</sub> )	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
Jour 1	16,4	7,33	93	1228	792	57,2
Jour 2	16	7,14	121	1092	-	50,8
Jour 3	16,4	7,02	139	1030	655	46,3
Jour 4	16,4	6,98	140	-	-	43,3
Jour 5	16,4	6,93	144	830	-	40,0
Jour 6	16	6,95	167	779	486	36,5

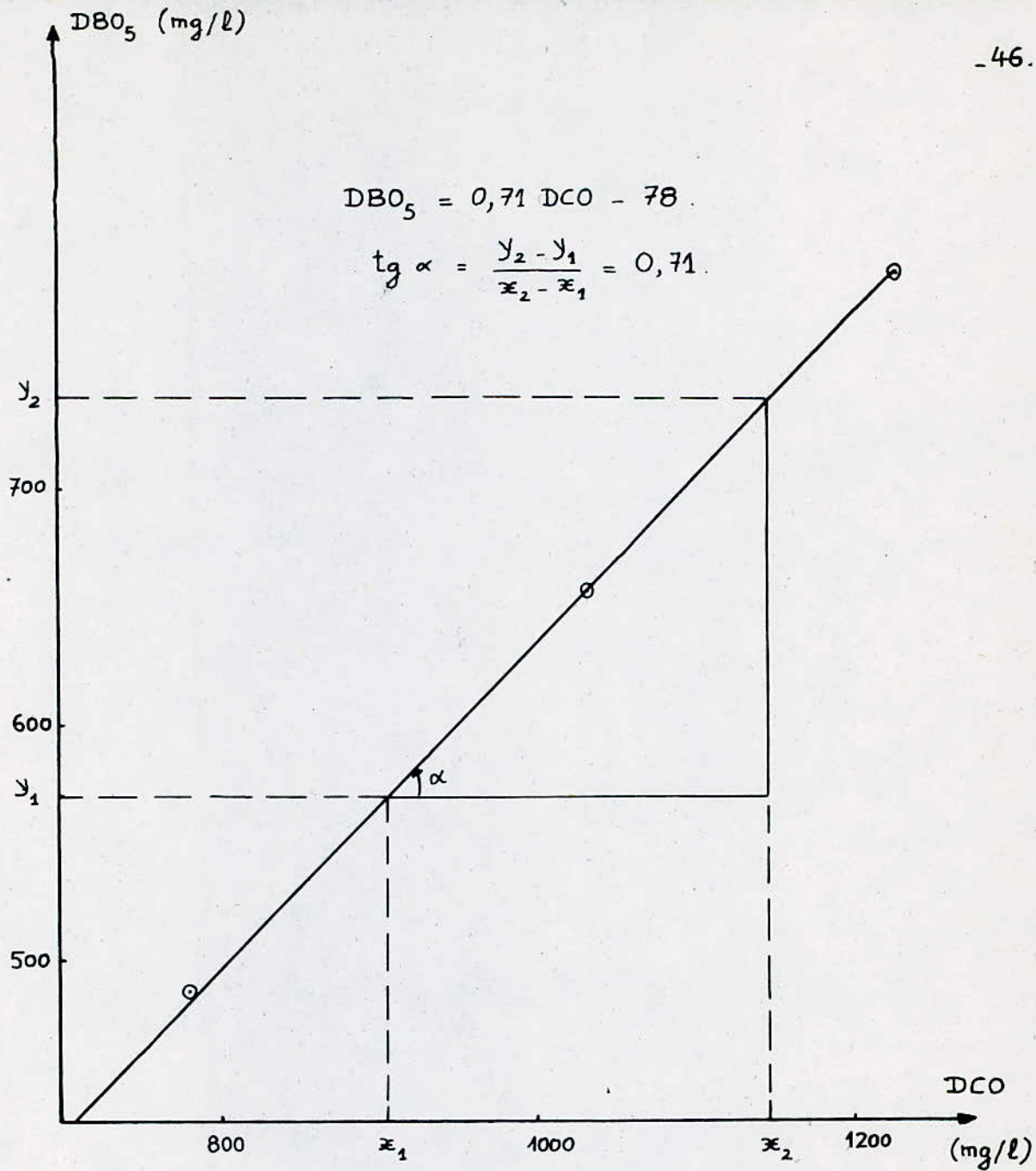


fig. 4 - Recherche de corrélation entre DBO<sub>5</sub> et DCO.  
(variante 2)

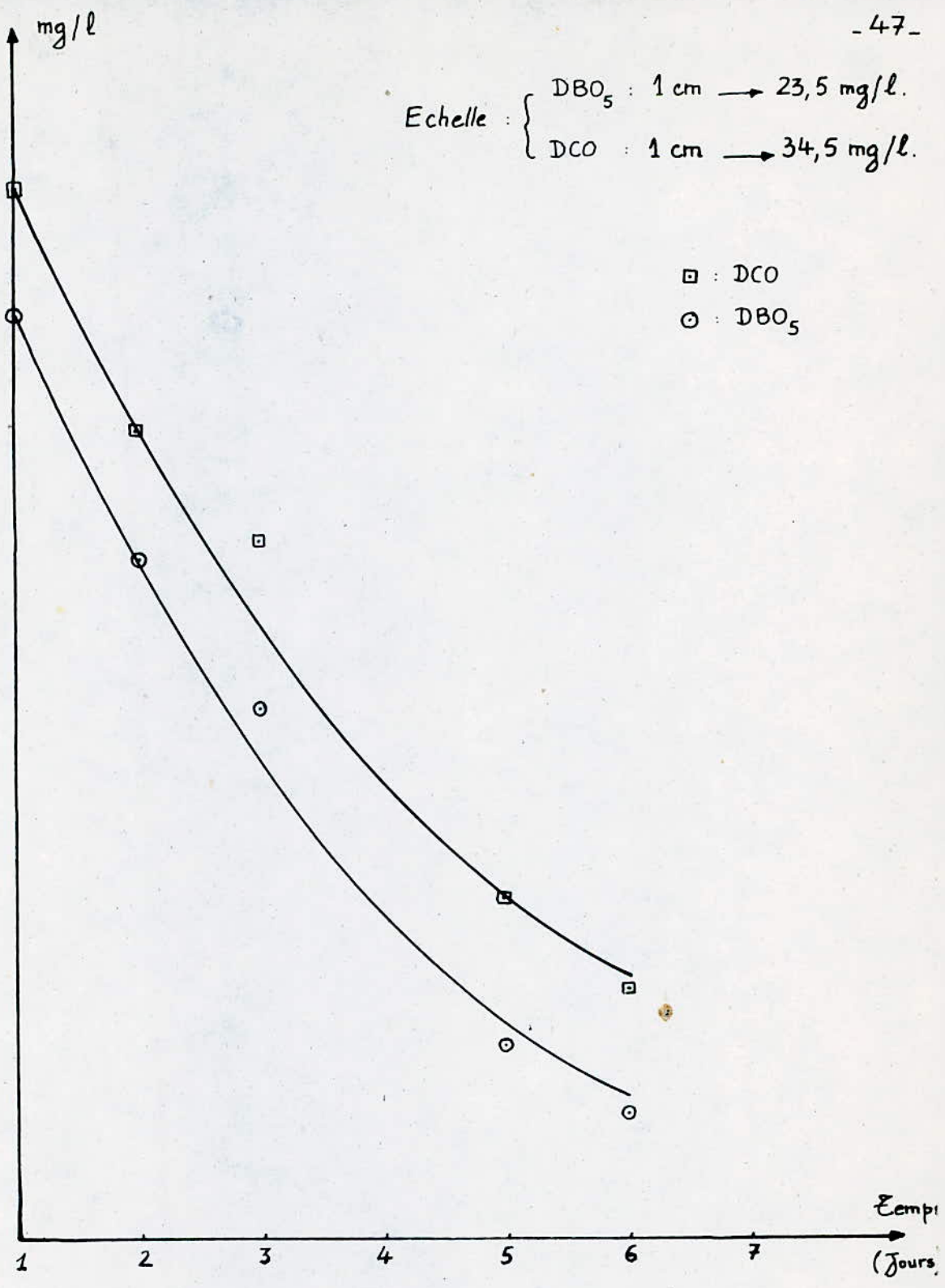


fig. 5 - Variation de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO en fonction du temps. (variante 2).

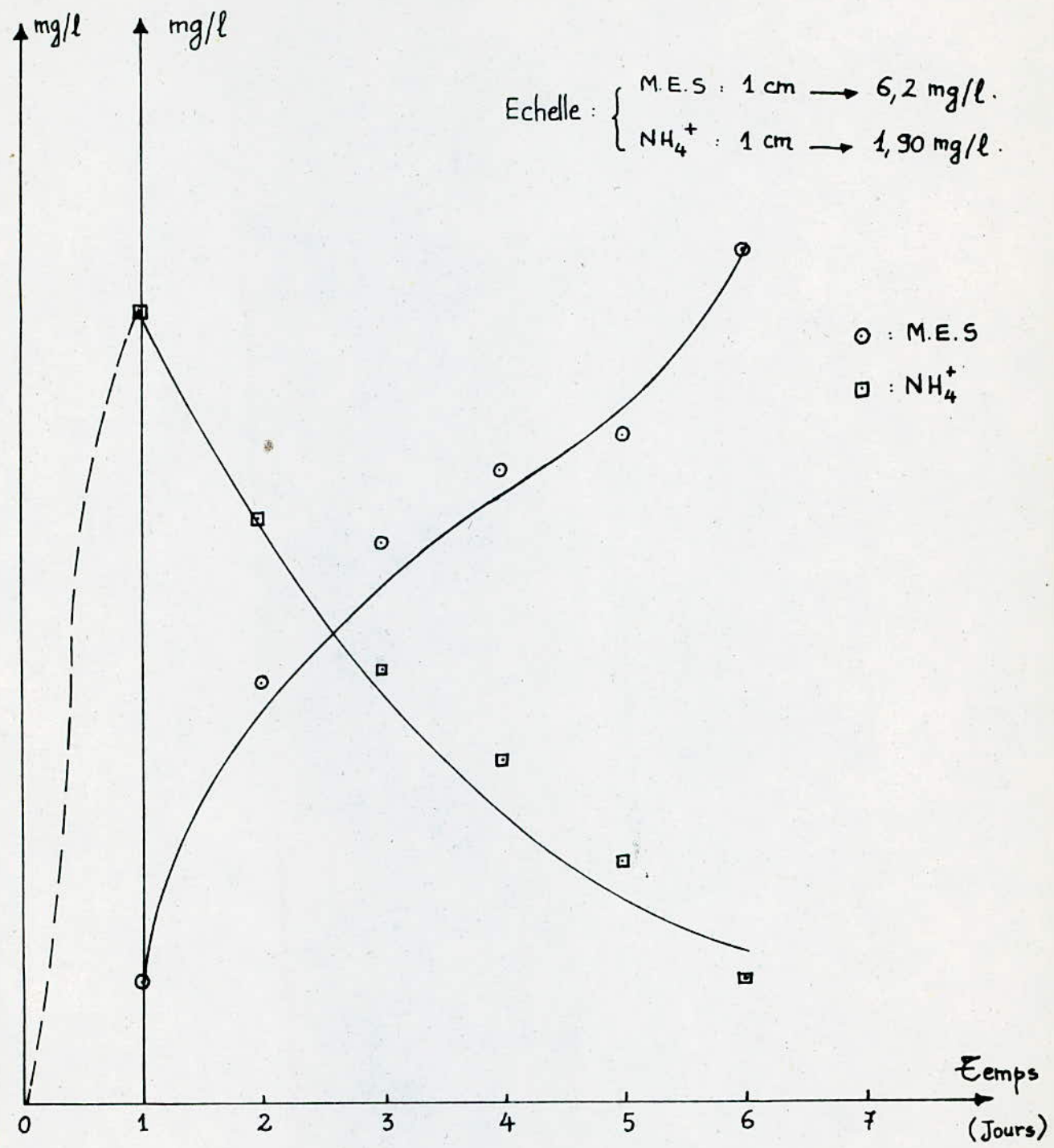


fig.6 - Evolution des M.E.S et de la pollution azotée en fonction du temps.  
(variante 2)

### V - 4 - 3 Discussion et analyse des résultats :

- Le pH proche de la neutralité ainsi qu'une température presque constante ( $16^{\circ}\text{C}$ ), déterminés lors des divers prélèvements, conviennent parfaitement à une activité efficace et conséquente de la masse bactérienne.

- Corrélation  $\text{DBO}_5/\text{DCO}$  :

Vues la complexité et la lenteur rencontrées lors des diverses déterminations de  $\text{DBO}_5$ , nous avons jugé indispensable de calculer la corrélation liant celle-ci à la DCO.

Le graphique mettant en exergue la corrélation  $\text{DBO}_5/\text{DCO}$  nous indique qu'une relation linéaire lie ces 2 paramètres.

Dans notre cas, nous tirons graphiquement la relation suivante:

$$\text{DBO}_5 = 0,71 \text{ DCO} - 78$$

Ainsi, grâce à cette équation, nous pouvons à partir des points expérimentaux relatifs à la DCO, déterminer les valeurs correspondantes de  $\text{DBO}_5$ .

- Dépollution carbonée :

Notre étude porte sur un cas de pollution industrielle certes, mais dont le profil est organique dominant. Ceci nous permet de dire que la  $\text{DBO}_5$  constitue un critère aussi valable que la DCO, à utiliser pour les normes gouvernant ce type de rejets. Pour cette variante, comme dans le cas précédent, nous observons que la  $\text{DBO}_5$  tout comme la DCO, suit une décroissance exponentielle de la forme:

$$d_t = d_0 \cdot e^{-kt} \quad ; \quad \text{avec : } \begin{cases} d_0 : \text{DBO}_5 \text{ initial} \\ d_t : \text{DBO}_5 \text{ au temps } t \\ t : \text{temps en jours} \\ k : \text{coef. de dégradation du substrat.} \end{cases}$$



Pour cette variante, la dépollution carbonée présente sensiblement le même profil observé pour la 1<sup>ère</sup> variante. Néanmoins, cette fois la  $DBO_5$  présente une diminution plus nette au cours du temps. A part cette différence, la cinétique du processus épurateur dessine la même courbe exponentielle décroissante déterminée lors de l'étude de la 1<sup>ère</sup> variante.

L'élimination plus nette de la  $DBO_5$  est due incontestablement à une relative abondance de l'O.D dans le milieu. Le léger supplément d'O.D est rendu disponible au niveau de notre milieu pollué grâce au mécanisme de l'agitation.

Quant aux M.E.S, celles-ci sont en constante augmentation. Cela s'explique par le fait que le milieu étant en perpétuelle agitation; les particules en suspension sont empêchées de sédimenter. Même les particules les plus lourdes ayant décanté précocement sont remises, en partie, en suspension.

Néanmoins si on avait prolongé notre expérimentation de quelques jours, on aurait sûrement observé un plafonnement des M.E.S.

Pour ce qui est de la dépollution azotée, celle-ci présente une allure décroissante sensiblement identique à l'élimination de la pollution carbonée.

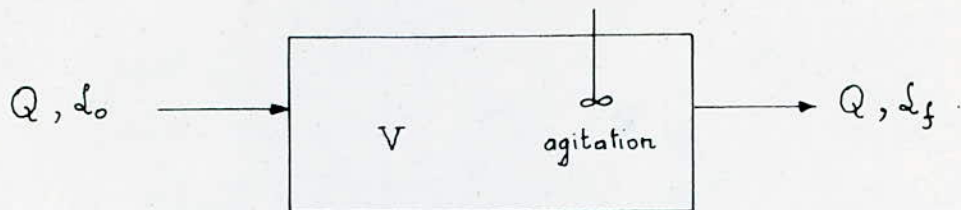
\* Calcul du rendement d'épuration :

$$\eta = \frac{DBO_5 \text{ initiale} - DBO_5 \text{ finale}}{DBO_5 \text{ initiale}} \times 100$$

$$= \frac{792 - 486}{792} \times 100 = 38,63 \%$$

$$\eta = 38,60 \%$$

- \* Détermination du coefficient de dégradation de la DBO :  
Bilan global des matières dégradées :



$$Q L_0 \cdot dt - Q L_f \cdot dt = V \cdot L_f \cdot dt \cdot k$$

en divisant les 2 membres de cette équation par  $Q$ , on a :

$$(L_0 - L_f) \cdot dt = \frac{V}{Q} \cdot L_f \cdot k \cdot dt$$

avec :  $\frac{V}{Q} = t$  : temps de séjour en jours

$$\text{Il vient donc : } k = \frac{L_0 - L_f}{t \cdot L_f}$$

Application numérique :

$$k = \frac{792 - 486}{486 \cdot 5} = 0,126 \text{ j}^{-1}$$

$$k = 0,126 \text{ j}^{-1}$$

#### V - 4 - 4 Conclusion :

Le taux d'épuration ainsi que le coefficient de dégradation de la matière organique sont relativement améliorés. Cette amélioration est due au mécanisme de l'agitation qui assure un meilleur brassage ainsi qu'une introduction d'oxygène dans le milieu.

Le seul point négatif sont les M.E.S qui en augmentant au cours des jours, rend notre milieu de plus en plus turbide.

Notons aussi que les 2 paramètres  $\eta$  et  $k$  auraient pu être sensiblement augmentés, s'il a été mis à notre disposition un agitateur mécanique, lequel est plus performant.

## Chapitre V.5 Etude expérimentale de la 3<sup>e</sup> variante:

### V.5.1 Introduction:

L'eau usée synthétique contenue dans le bac est laissée stagner durant une journée afin de permettre l'adaptation au milieu de l'inoculum bactérien.

Pour cette variante, la cinétique du processus épurateur aérobie sera établie sous l'influence d'une aération de fond continue. L'aération du milieu se fera par insufflation d'air grâce à un compresseur à air.

La concentration en O.D est maintenue dans tout le bac de telle sorte que le milieu pollué travaille en phase aérobie. Le compresseur à air qui nous assure un apport d'oxygène considérable est mis en marche pendant 6 heures.

Les prélèvements se sont donc étalés sur 6 heures, à raison d'un prélèvement par heure en moyenne.

Notons toutefois que par manque de moyens pratiques adéquats, nous avons procédé, par bricolage, à l'aménagement du compresseur à air afin d'en ressortir avec un système d'aération plus ou moins efficace. Ainsi, nous avons adjoint au compresseur un tuyau en caoutchouc dont l'extrémité libre a été bouchée. Et en guise de diffuseur, nous avons procédé au trouage du tuyau sur un tronçon de 40 cm; partant de l'extrémité obturée. Chaque 2 cm nous avons effectué un trou de  $\phi = 2 \text{ mm}$ . Après cette opération nous plongeons le "diffuseur" dans le bac, et le maintenons immergé au fond de celui-ci par calage. Après quoi, nous mettons en marche notre "système d'aération".

### V.5.2 Expression des résultats:

Les résultats de nos analyses sont réunis dans un tableau récapitulatif figurant sur la feuille suivante:

Tableau de Résultats - 3<sup>e</sup> variante -

Heures de prélèvement	T: (°C)	pH	M.E.S (mg/l)	DCO (mg/l d'O <sub>2</sub> )	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
Heure 1	16,4	7,22	110	1228	792	58,3
Heure 2	16,4	7,08	156	1080	-	49,6
Heure 3	16,6	6,92	179	-	566	42,5
Heure 4	-	-	-	-	-	36,7
Heure 5	16	6,84	188	736	-	-
Heure 7	15,8	6,82	191	608	370	29,4

\* Nota: L'aération a débuté 24<sup>h</sup> après la synthèse du milieu pollué.

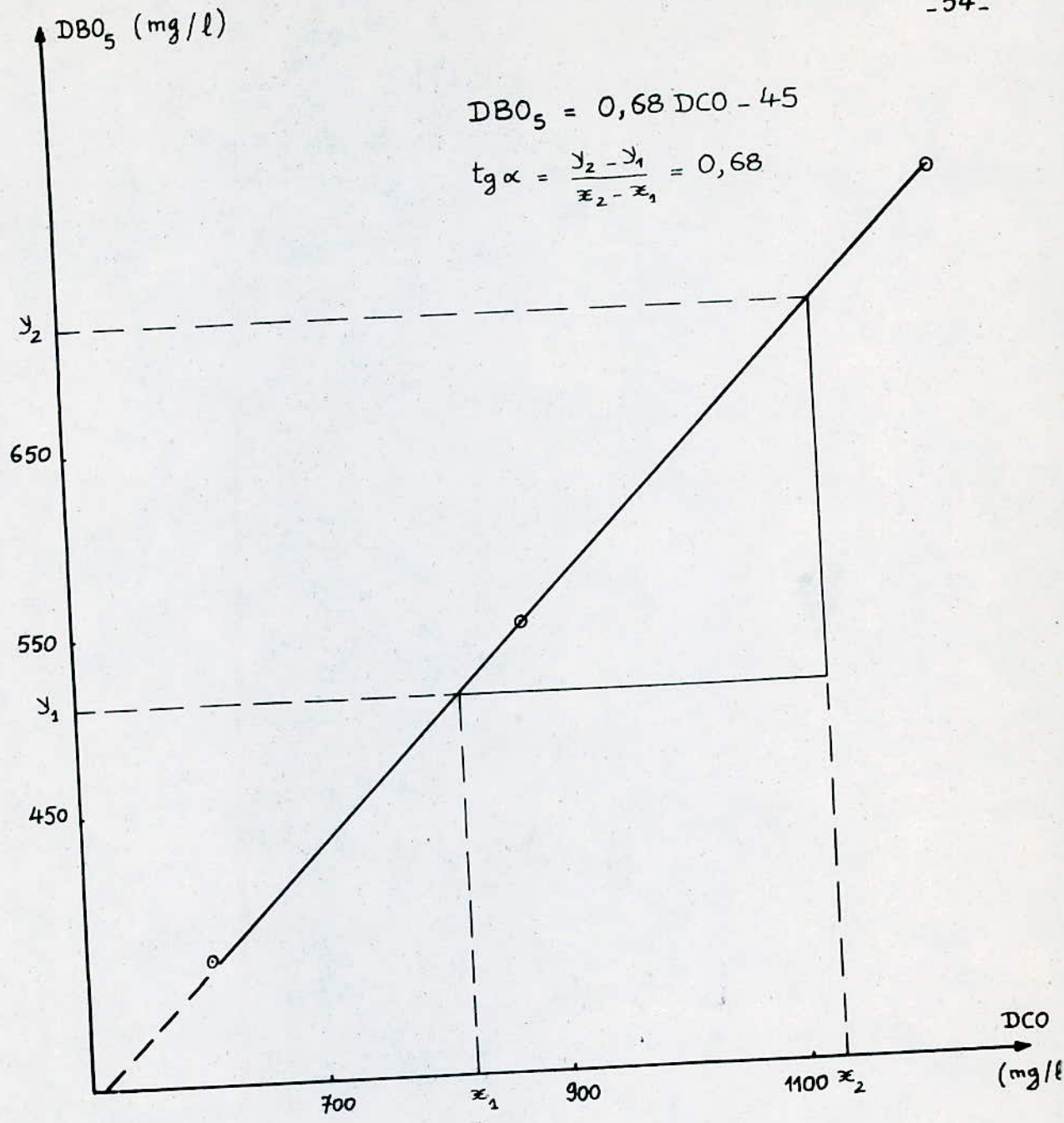


fig. 7 - Recherche de corrélation entre DBO<sub>5</sub> et DCO (variante 3)

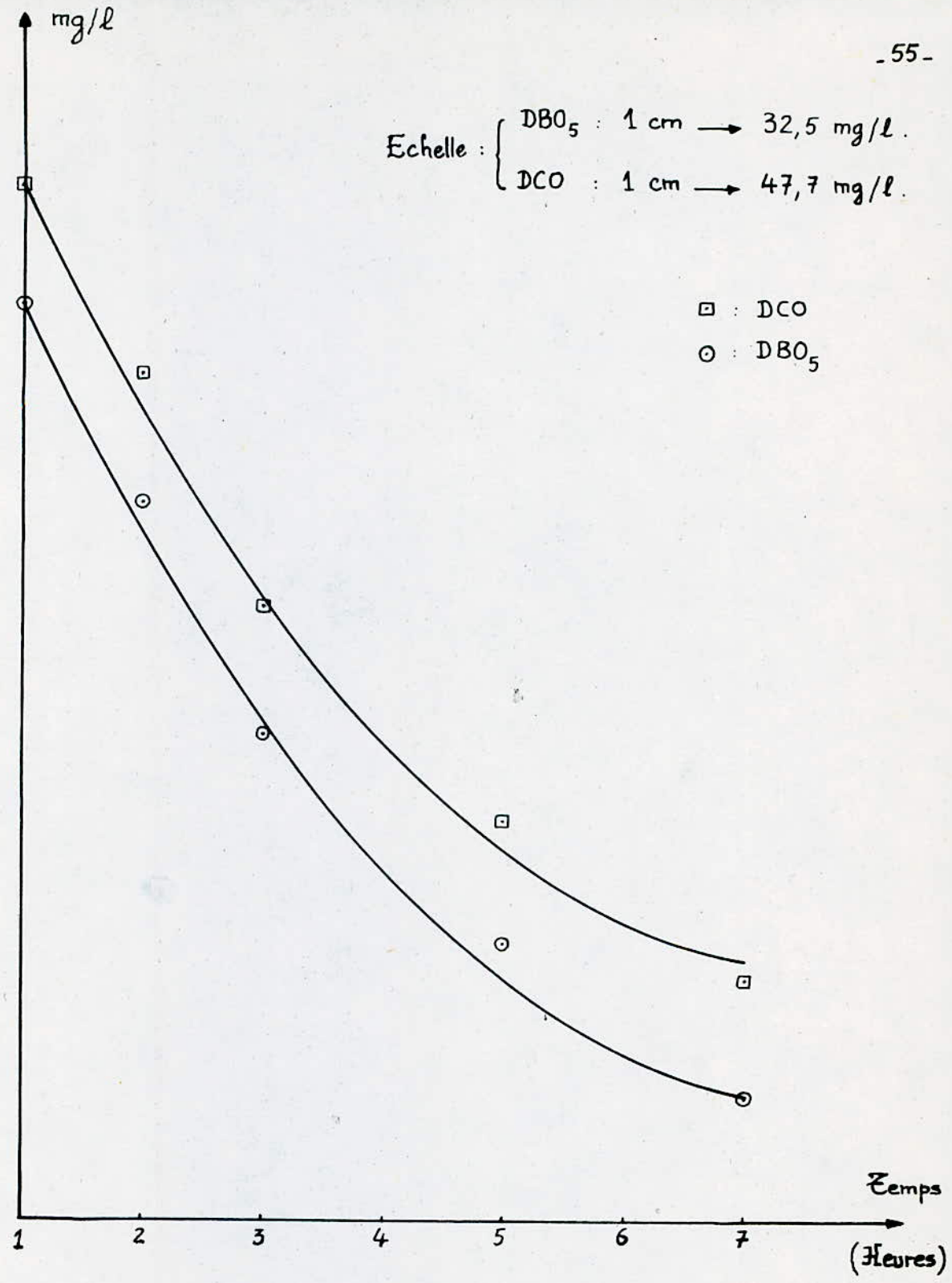


fig. 8 - Variation de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO en fonction du temps.  
(variante 3)

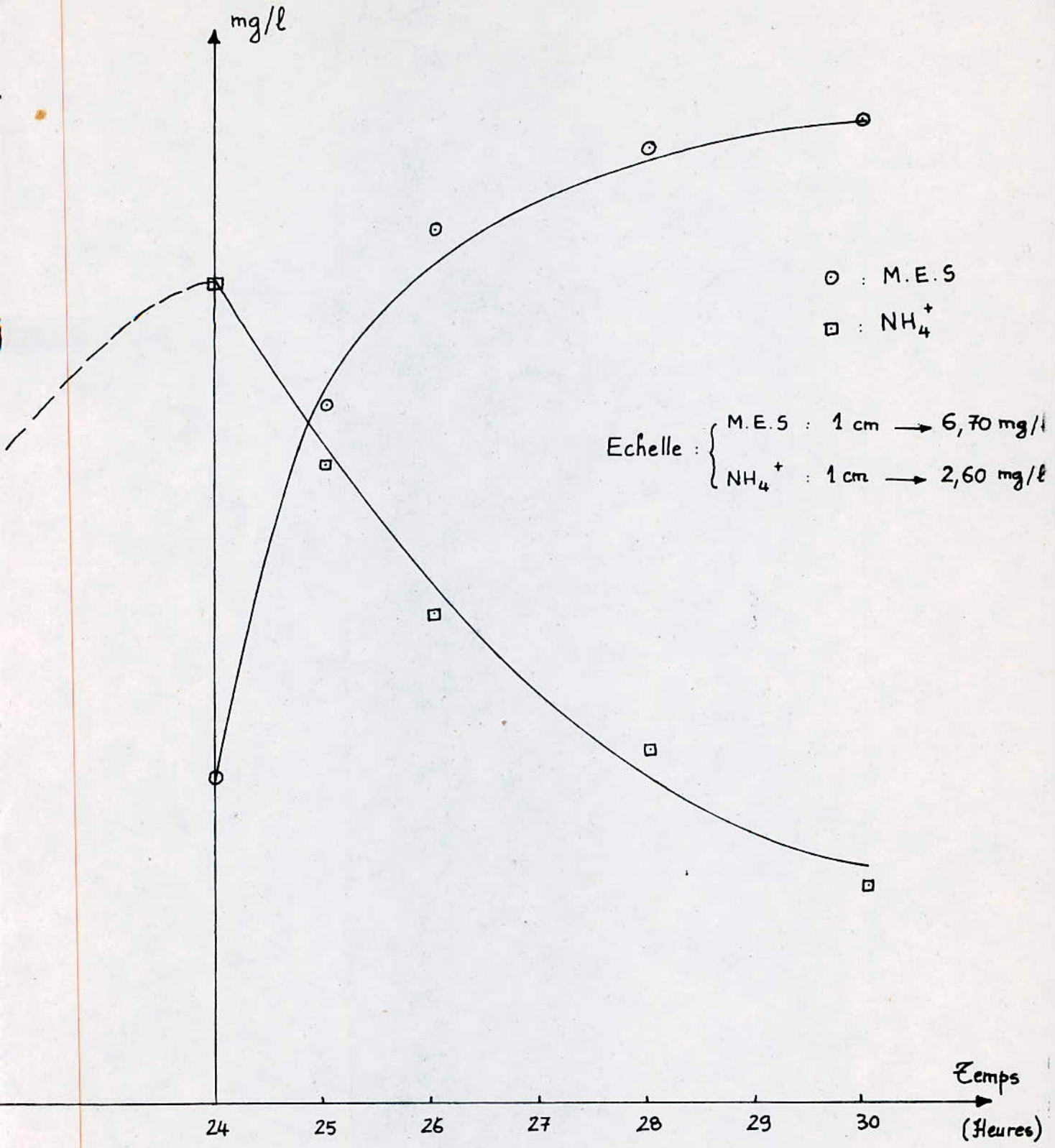


fig. 9 - Evolution des M.E.S et de la pollution azotée en fonction du temps.  
(variante 3).

### V - 5 - 3 Discussion et analyse des résultats :

- Pendant les prises d'échantillons, la valeur du pH est comprise dans l'intervalle 6-8. Notons que celui-ci tend à diminuer au fil des heures. Le milieu devient légèrement acide. C'est le signe d'une bonne dégradation de la matière organique, par le biais des bactéries aérobies, en produits minéraux,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ . La température n'a pas tellement varié. Celle-ci aussi est propice pour un travail effectif des microorganismes.

- Corrélation  $\text{DBO}_5 / \text{DCO}$  :

Le tracé du graphe  $\text{DBO}_5 = f(\text{DCO})$  nous donne une droite présentant un point d'intersection avec l'axe des DCO.

La fonction liant ces deux paramètres est donc une relation linéaire, de la forme suivante :

$$\text{DBO}_5 = 0,68 \text{ DCO} - 45$$

- Dépollution carbonée :

La diminution de la  $\text{DBO}_5$  suit une décroissance exponentielle du type :  $d_t = d_0 e^{-kt}$

Notons cette fois-ci que  $k$  est le coefficient de dégradation de la  $\text{DBO}_5$  calculé en heure<sup>-1</sup> ( $\text{h}^{-1}$ ).

Cette décroissance à allure beaucoup plus aigue, est due à un coefficient de dégradation de la matière organique assez élevé comparé à celui des 2 précédentes variantes.

Pour ce qui est de la dépollution azotée, celle-ci présente la même allure que l'élimination de la pollution carbonée.

Quant aux M.E.S, elles sont en progression constante. Cela s'explique par la vive turbulence créée au niveau de notre milieu, par l'aération de fond.



L'équipement de notre bac d'un système d'aération est à l'origine de la tangible augmentation du taux de dépollution tant carbonée qu'azotée.

Le compresseur à air, a un double objectif :

- Apport aux microorganismes des matières ayant décanté (boues) l'oxygène dont ils ont besoin.
- Provocation d'un brassage et une homogénéité suffisants pour assurer un contact intime entre le milieu vivant, les éléments polluants et l'oxygène introduit.

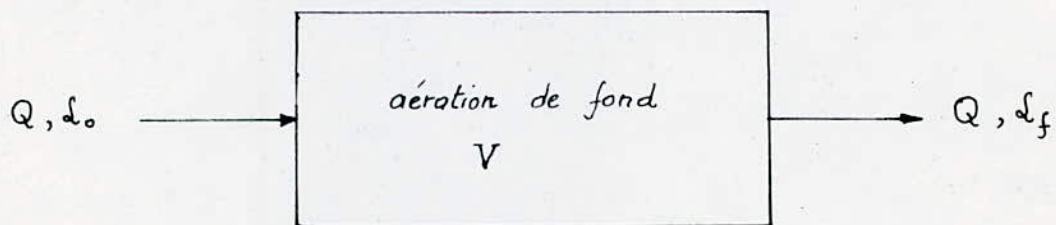
\* Calcul du rendement d'épuration :

$$\eta = \frac{\text{DBO}_5 \text{ initiale} - \text{DBO}_5 \text{ finale}}{\text{DBO}_5 \text{ initiale}} \times 100$$

$$= \frac{792 - 370}{792} \times 100 = 53,30\%$$

$$\eta = 53,30\%$$

\* Détermination du coefficient de dégradation de la DBO :



Analogiquement aux bilans des précédentes variantes, il vient :

$$k = \frac{L_0 - L_f}{t \cdot L}$$

$$= \frac{792 - 370}{6 \cdot 370} = 0,19 \text{ h}^{-1}$$

donc on a :

$$k = 0,19 \text{ h}^{-1}$$

on sait que :  $1 \text{ h} = \frac{1}{24} \text{ J}$

$$\Rightarrow k = 0,19 \times 24 = 4,56 \text{ j}^{-1}$$

$$k = 4,56 \text{ j}^{-1}$$

#### V - 5 - 4 Conclusion :

Le taux d'épuration et le coefficient  $k$  sont sensiblement augmentés ; simplement par l'équipement de notre variante d'un système d'aération.

Néanmoins un aléa ternit cette performance ; la turbidité du milieu augmente au fil des heures. Une décantation secondaire s'impose.

Notons cependant que l'efficacité du processus épurateur aurait pu être largement améliorée. La précarité involontaire, citée plus haut, dans l'aménagement du compresseur à air a induit une baisse de la capacité d'oxygénation du système d'aération. En effet, non seulement le brassage hydraulique fut insuffisant mais un bouchage partiel du "diffuseur" a été constaté.

## Chapitre V-6 Etude expérimentale de la 4<sup>e</sup> variante :

### V-6-1 Introduction :

Pour cette variante, nous pouvons dire que le milieu synthétique a été obtenu par simple dilution (avec de l'eau de robinet) du substrat organique initial ; avec comme pourcentage de dilution  $P=10\%$ . D'une autre manière, nous dirons que nous avons inoculé cette fois dans notre bac une masse  $m'_0$  du substrat organique tel que  $m'_0 = \frac{m_0}{10}$ . Aussi pour ce cas la demande théorique en oxygène ( $DCO_{théo}$ ) change. Elle devient 10 fois plus faible que ce qu'elle fut pour les 3 premières variantes.

Notons cependant que l'ensemencement mixte opéré pour les 3 précédents systèmes a été maintenu. C'est-à-dire que l'inoculation du surnageant (effluent urbain) s'est opérée aussi dans un rapport de 5 à 10 ml par litre du milieu.

A la fin de cette synthèse, nous laissons le milieu stagner pendant une journée pour les fins que l'on sait.

Après quoi, nous procédons au 1<sup>er</sup> prélèvement ; prélèvements qui s'étaleront sur une semaine.

Pour ce cas, nous établirons la cinétique du processus épurateur aérobie et déterminerons le rendement d'épuration sous le seul effet des bactéries purificatrices.

Les sources d'oxygène seront et l'O.D dans le milieu et l'oxygène atmosphérique diffusant à travers la surface libre du milieu pollué.

### V-6-2 Expression des résultats :

Ceux-ci sont reproduits dans un tableau récapitulatif figurant au niveau de la feuille suivante.

Tableau de Résultats - 4<sup>e</sup> variante -

Jours de prélèvement	T: (°C)	pH	M.E.S (mg/l)	DCO (mg/l d'O <sub>2</sub> )	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
Jour 1	16,4	7,38	11	133	96	8,9
Jour 2	16,4	7,07	18	106	-	7,0
Jour 3	16,4	6,95	29	-	61	5,7
Jour 4	16	6,94	25	79	56	5,4
Jour 5	16,4	6,90	27	-	-	5,1
Jour 6	16	6,78	29	70	49	4,8

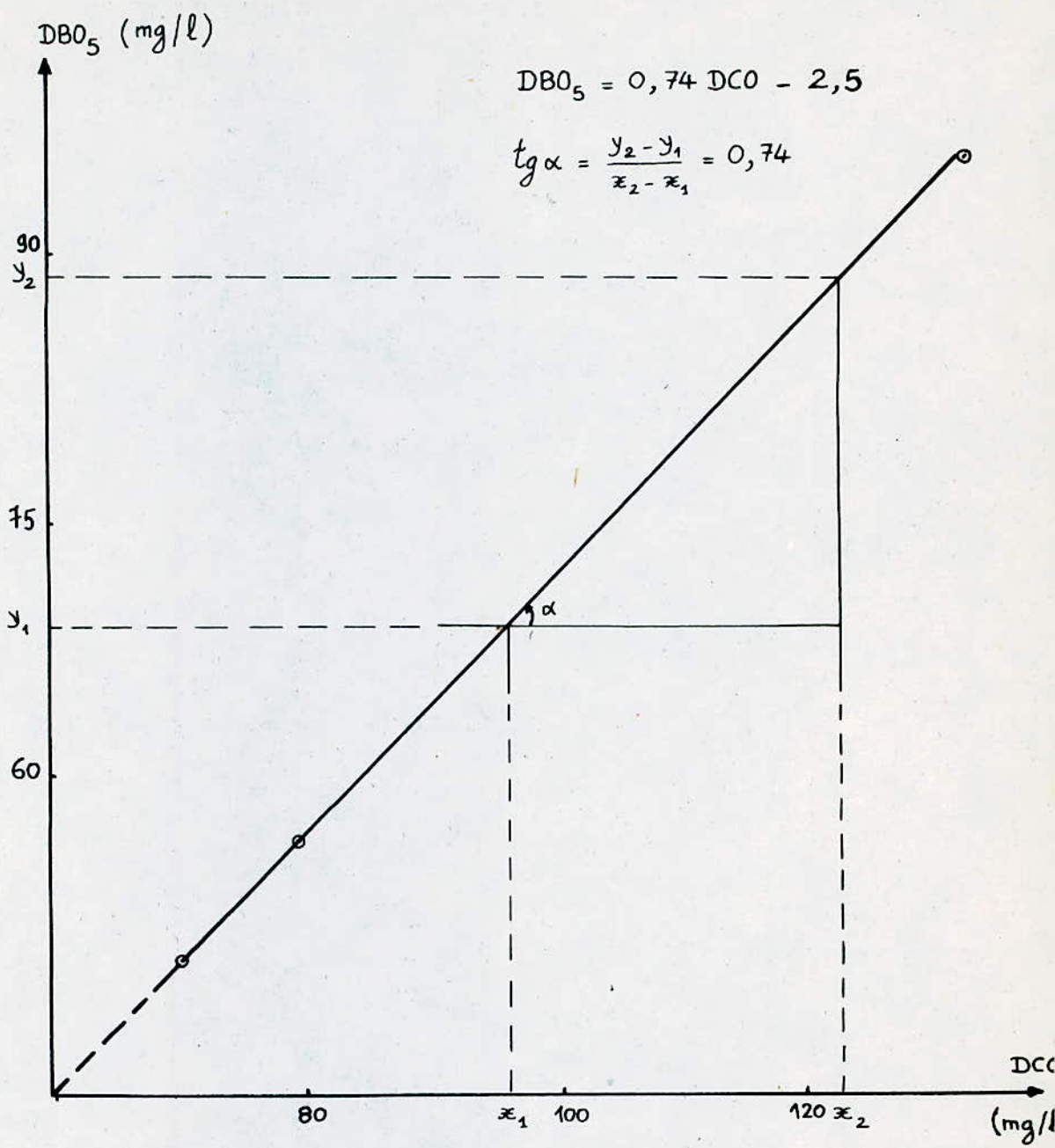


fig 10 - Recherche de corrélation entre DBO<sub>5</sub> et DCO.  
(variante 4).

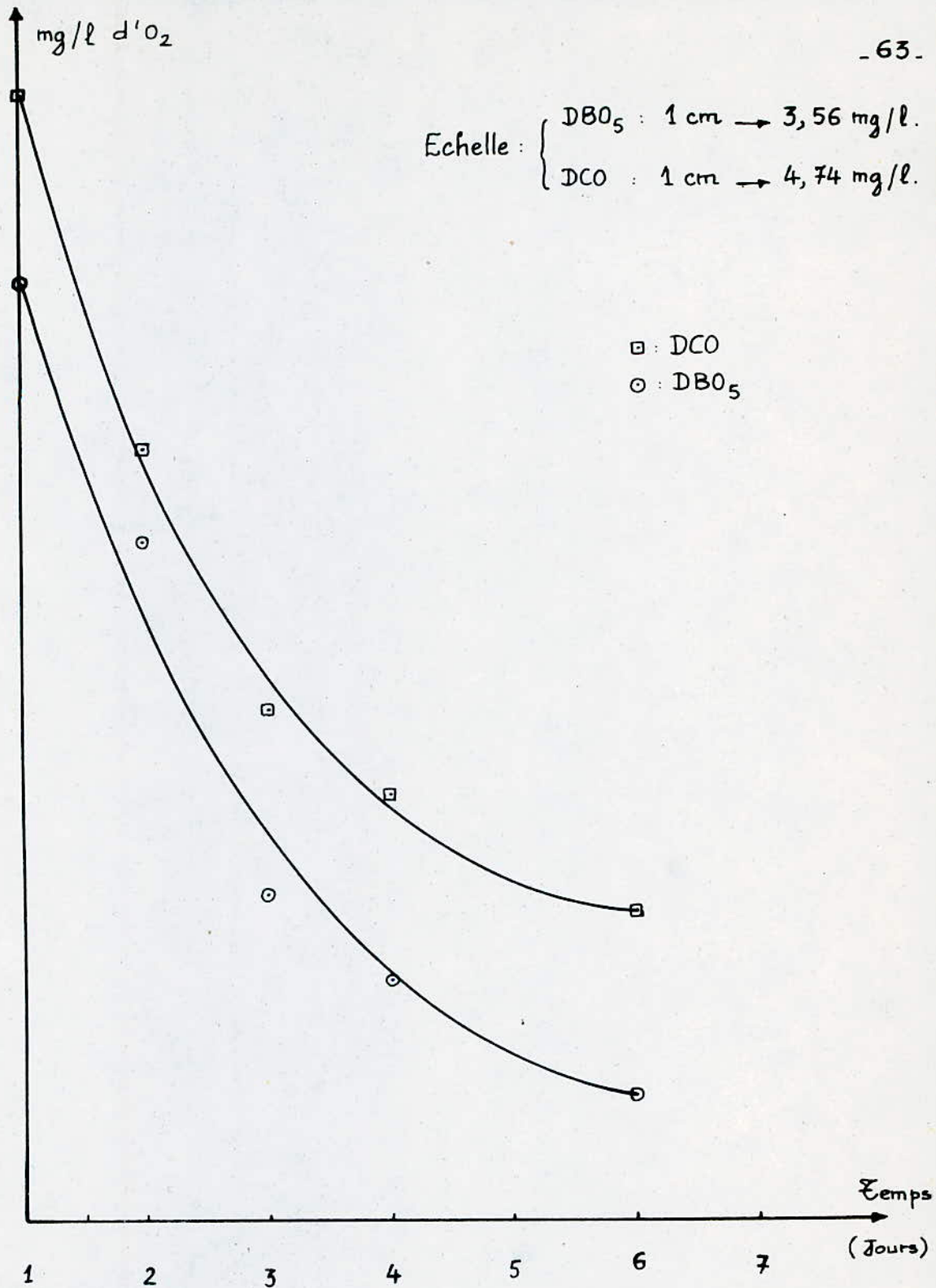


fig. 11 - Variation de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO en fonction du temps. (4<sup>e</sup> variante).

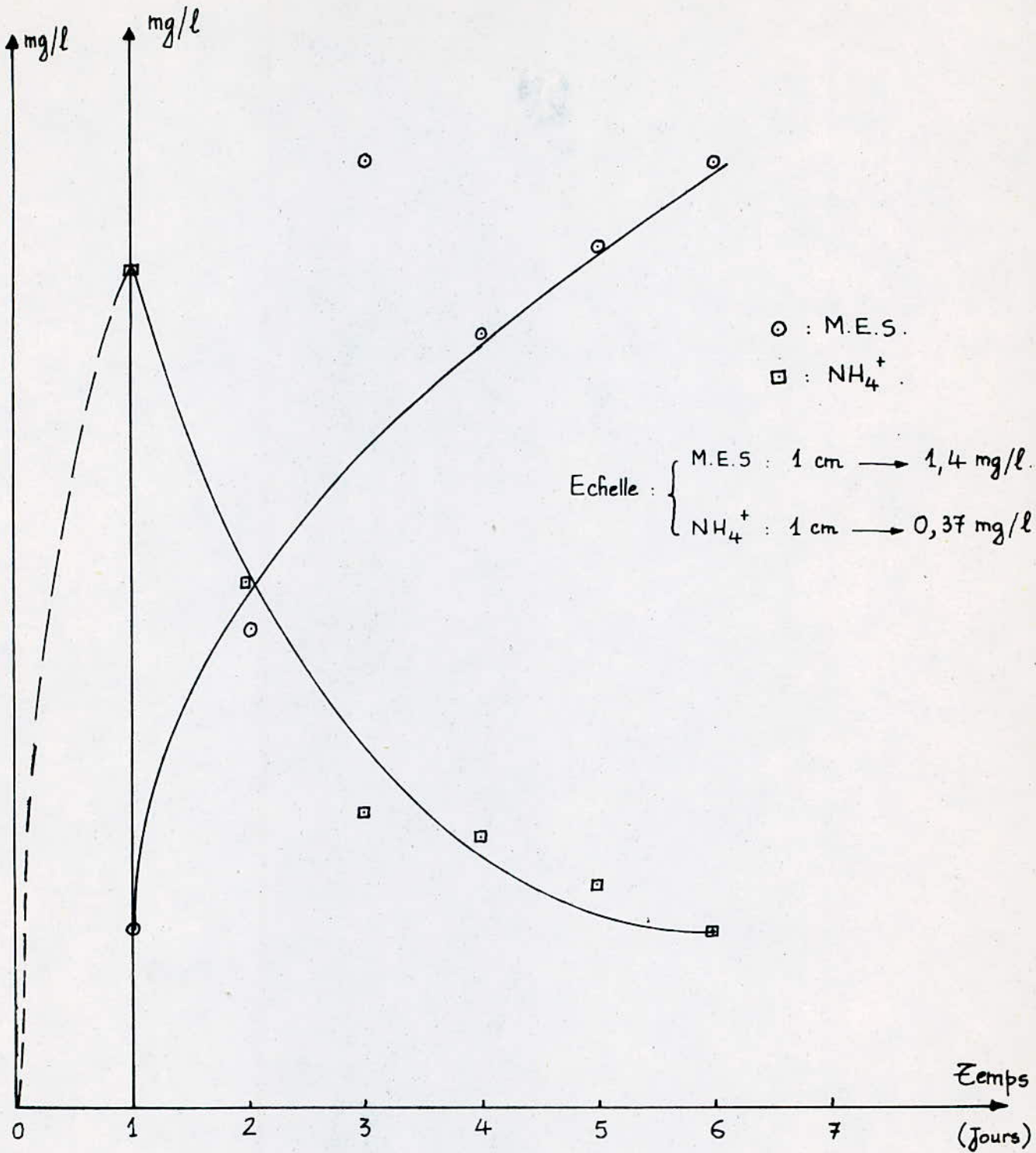


fig.12 - Evolution des M.E.S et de la pollution azotée en fonction du temps. (variante 4).

### V-6-3 Discussion et analyse des résultats :

- Le pH voisine la neutralité ; avec néanmoins une tendance acide au fil des prélèvements. Cela nous confirme une dégradation du substrat en produits finaux (matières minérales,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ ) en phase aérobie. La température aussi, vu sa constance, se prête bien à un travail convenable et efficace des bactéries.

- Corrélation  $\text{DBO}_5 / \text{DCO}$  :

Depuis le graphe mettant en évidence une relation linéaire entre la  $\text{DBO}_5$  et la  $\text{DCO}$ , nous tirons la corrélation suivante :

$$\text{DBO}_5 = 0,74 \text{ DCO} - 2,5$$

Ainsi, depuis cette relation, nous pouvons déterminer le restant des valeurs de la  $\text{DBO}_5$  ; et partant d'une plus grande variété de résultats ayant trait à la  $\text{DBO}_5$  nous serons en mesure de reproduire la courbe donnant l'évolution de la matière organique en fonction du temps.

- Dépollution carbonée :

L'évolution de la  $\text{DBO}_5$  en fonction du temps suit une décroissance exponentielle :  $d_t = d_0 e^{-kt}$ .

La  $\text{DBO}_5$  décroît très nettement, présentant presque le même profil de la dépollution carbonée pour la 3<sup>e</sup> variante.

Cela démontre une certaine efficacité des microorganismes dans la dégradation de la matière organique. Et partant de cette constatation, nous devons ressortir avec un coefficient de dégradation de la  $\text{DBO}$  sensiblement amélioré comparé à ceux de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> variante.



La dépollution azotée, comme pour les 3 premiers cas, suit une décroissance exponentielle assez similaire de par l'allure à celle constatée pour l'évolution de la  $DBO_5$ , voire même de la DCO. Au niveau des M.E.S, on constate une augmentation régulière de leur masse au fil des jours. Notons qu'à partir du 3<sup>e</sup> jour, nous observons une progression des M.E.S de plus en plus faible; celles-ci ont tendance à se stabiliser autour d'un plafond. Néanmoins, nous pouvons avancer sans être sûrs, que si on avait prolongé la manipulation de 2 ou 3 jours; nous aurions probablement observé une chute progressive des M.E.S. Toutefois, cette stabilité autour d'un plafond trouve son explication dans le fait qu'ayant une pollution organique considérablement diluée; une meilleure suffisance de l'O.D est assurée comparativement à ce qu'il en était pour la 1<sup>ère</sup> variante. Partant de là (substrat suffisant et O.D relativement assuré); la phase de croissance logarithmique des bactéries purificatrices est non seulement plus intense mais aussi plus étalée. Et de ce fait, les M.E.S sont maintenues en suspension plus longtemps.

\* Calcul du rendement d'épuration :

$$\eta = \frac{DBO_5 \text{ initiale} - DBO_5 \text{ finale}}{DBO_5 \text{ initiale}} \times 100$$

$$= \frac{96 - 49}{96} \times 100 = 49\%$$

$$\eta = 49\%$$

\* Détermination du coefficient de dégradation de la DBO :

Analogiquement aux calcul et développements observés dans la détermination du bilan global de la matière dégradée pour la 1<sup>ère</sup> variante ; nous tirons la relation suivante :

$$k = \frac{L_0 - L_f}{t \cdot L_f} = \frac{96 - 49}{5 \cdot 49} = 0,192 \text{ j}^{-1}$$

$$k = 0,19 \text{ j}^{-1}$$

#### V - 6 - 4 Conclusion :

Nous pouvons dire que la dilution du milieu pollué nous a garanti un rendement d'épuration assez efficace ainsi qu'un coefficient de dégradation de la matière organique sensiblement amélioré.

Nous avancerons aussi, et sous réserve, que si on avait prolongé l'expérimentation au delà d'une semaine ; on aurait largement amélioré de l'efficacité du processus épurateur. Pour conclure, nous ajouterons qu'en plus des facteurs naturels influençant le pouvoir épurateur, il faut impérativement accorder son importance au facteur temps.

## Chapitre VI - Etude comparative :

### VI.1 Introduction :

Le présent chapitre a pour but la détermination de la variante la plus efficace, du point de vue épuration.

Nous avons choisi comme critères de comparaison les 3 paramètres que sont les taux de dépollution carbonée, le taux de dépollution azotée et le coefficient de dégradation de la matière organique.

L'approche comparative se fera en 2 temps. En premier lieu, la variante optimale sera sélectionnée parmi les 3 premiers systèmes.

En second lieu, la comparaison de cette dernière avec la 4<sup>e</sup> variante; nous déterminera le système au rendement d'épuration globale le plus efficace.

Nous avons procédé de la sorte pour une seule raison; c'est que la 4<sup>e</sup> variante se singularise par rapport aux 3 premiers systèmes par une charge organique polluante différente.

### VI.2 Expression des résultats :

Le tableau des résultats élaboré dans l'optique de l'étude comparative est spécifique. Seuls les résultats en relation directe avec les critères de comparaison y figurent.

Notons qu'en plus des résultats expérimentaux déjà en notre possession, de nouvelles valeurs de  $DBO_5$  et même de DCO apparaissent dans notre tableau. Celles-ci sont calculées à partir des corrélations  $DBO_5 / DCO$  déterminées plus haut.

Les taux d'élimination de la  $DBO_5$  ( $\eta$ ), d'élimination de la DCO ( $\eta'$ ) et de dépollution azotée ( $\eta''$ ) sont calculés depuis les relations suivantes :

$$\eta = \frac{DBO_5 \text{ initiale} - DBO_5 \text{ finale}}{DBO_5 \text{ initiale}} \times 100, \quad \eta' = \frac{DCO_{\text{init.}} - DCO_{\text{fin.}}}{DCO_{\text{init.}}} \times 100$$

$$\text{et } \eta'' = \frac{[NH_4^+]_{\text{init.}} - [NH_4^+]_{\text{fin.}}}{[NH_4^+]_{\text{init.}}} \times 100.$$

## Tableau de Résultats.

1 <sup>ère</sup> variante	Temps (Jours)	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	$k_1 = 0,053 \text{ j}^{-1}$
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	792	-	712	684	664	627	
	DCO (mg/l)	1228	-	1124	1090	1060	998	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	58,5	55,1	53,2	51,7	50,4	48,9	
	Rendements %	$\eta_1 = 20,80\%$		$\eta'_1 = 18,70\%$		$\eta''_1 = 16,40\%$		
2 <sup>ème</sup> variante	Temps (Jours)	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	$k_2 = 0,126 \text{ j}^{-1}$
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	792	697	655	-	511	486	
	DCO (mg/l)	1228	1092	1030	-	830	779	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	57,2	50,8	46,3	43,3	40	36,5	
	Rendements %	$\eta_2 = 38,60\%$		$\eta'_2 = 36,60\%$		$\eta''_2 = 36,20\%$		
3 <sup>ème</sup> variante	Temps (Heures)	Heure 1	Heure 2	Heure 3	Heure 4	Heure 5	Heure 7	$k_3 = 4,56 \text{ j}^{-1}$
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	792	689	566	-	455	370	
	DCO (mg/l)	1228	1080	901	-	736	608	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	58,3	49,6	42,5	36,7	-	29,4	
	Rendements %	$\eta_3 = 53,30\%$		$\eta'_3 = 50,50\%$		$\eta''_3 = 49,60\%$		
4 <sup>ème</sup> variante	Temps (Jours)	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	$k_4 = 0,19 \text{ j}^{-1}$
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	96	76	61	56	-	49	
	DCO (mg/l)	133	106	86	79	-	70	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	8,9	7	5,7	5,4	5,1	4,8	
	Rendements %	$\eta_4 = 49\%$		$\eta'_4 = 47,40\%$		$\eta''_4 = 46\%$		

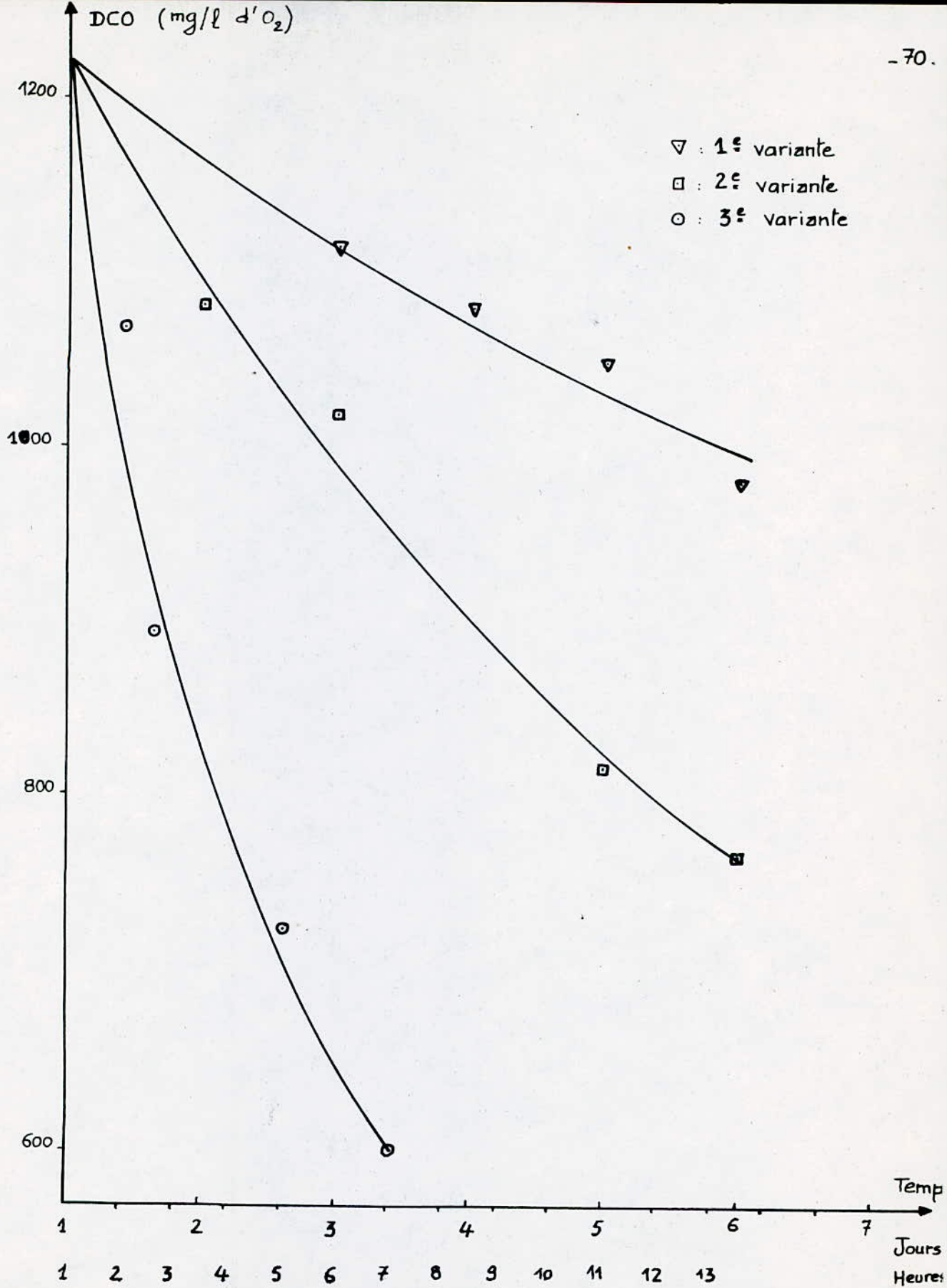


fig 13 - Etude comparative de la dépollution organique des 1<sup>er</sup>, 2<sup>er</sup> et 3<sup>er</sup> variantes.

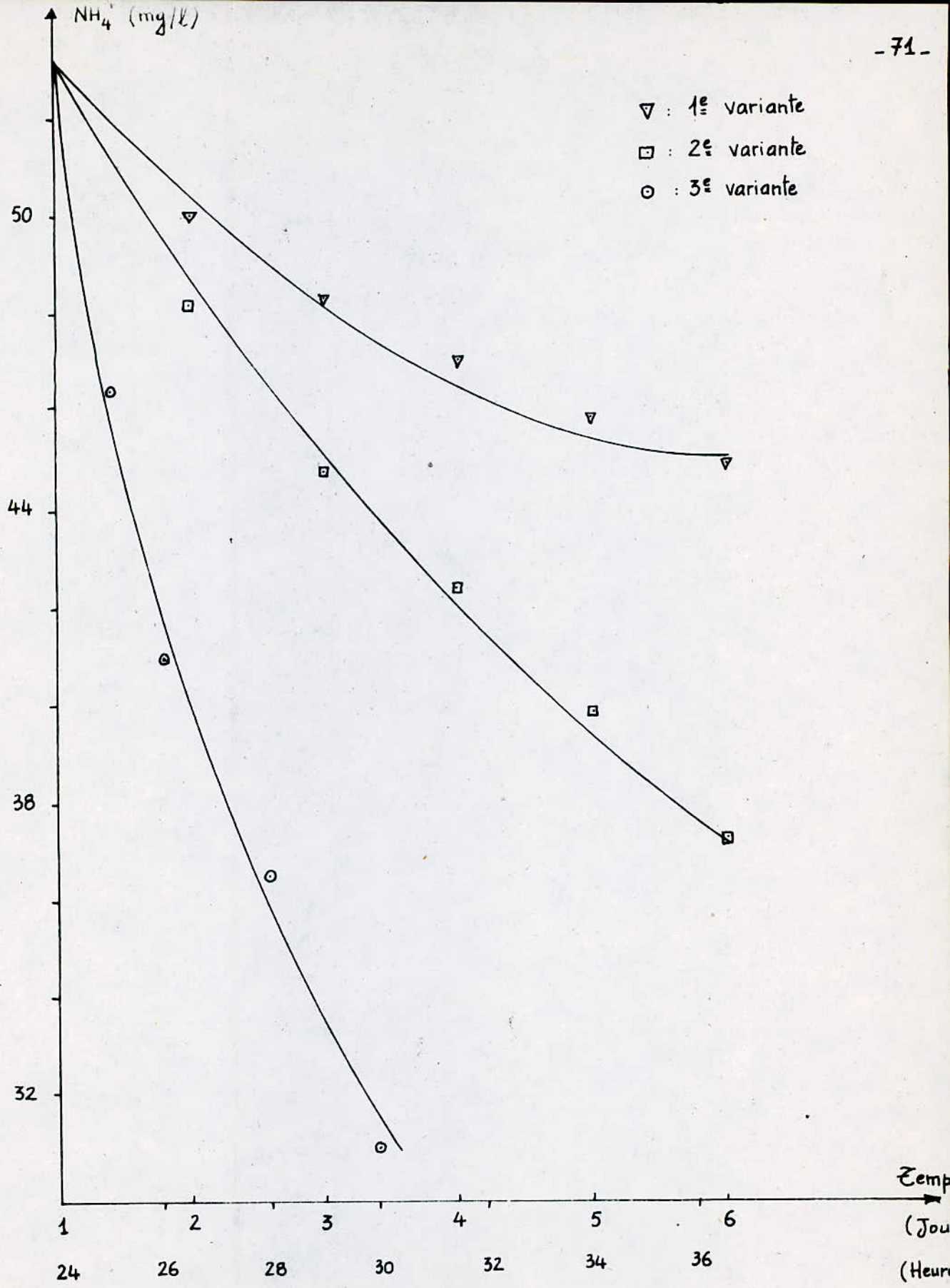


fig. 14 - Etude comparative de la dépollution azotée des 1<sup>re</sup>, 2<sup>re</sup> et 3<sup>re</sup> variantes.

### VI - 3 Interprétation des résultats :

Après analyse des graphes reproduisant pour les 3 premiers systèmes, l'évolution de la DCO ainsi que celle de la pollution azotée en fonction du temps, nous déduisons que la 3<sup>e</sup> variante est celle nous donnant les meilleurs résultats d'épuration.

Et sur la base des résultats notés sur le tableau comparatif, nous constatons que la même variante (la 3<sup>e</sup>) représente le système dont le rendement global du processus épurateur est le plus efficace.

### VI - 4 Conclusion :

Au terme de cette étude comparative, nous retenons les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> variantes car présentant les meilleures performances.

La conclusion est, donc qu'une dilution dûment choisie ou une aération de fond adéquate aident considérablement le pouvoir épurateur des cours d'eau, soumis à de fortes charges organiques polluantes à s'assurer, et peuvent le prémunir contre tout risque d'être dépassé.

Néanmoins, pour notre part, nous préconisons la 2<sup>e</sup> solution c'est-à-dire une aération mixte de fond car la 1<sup>ère</sup> alternative (la dilution) pouvant prêter à mauvaise interprétation.

Ainsi, comme cité au niveau de l'introduction (chapitre I), la solution "dilution" telle qu'assimilée actuellement ne présente guère un remède mais elle est plutôt à la source du mal qu'est la pollution des eaux.

## Chapitre VII - Conclusion Générale et Recommandations:

La méthode la plus simple pour épurer des eaux usées est de est de les verser, en un premier temps, dans des étangs spécialement aménagés avant de les rejeter dans le milieu naturel. Une fois l'eau usée stabilisée dans ces étangs, on laisse se développer les forces naturelles représentées par la lumière solaire, les bactéries, les algues, la température, l'oxygène atmosphérique et surtout le temps.

Cette technique ne fait appel qu'à une technologie extrêmement simple, n'exigeant qu'un minimum d'ouvrages et d'appareils du type industriel, et dont le fonctionnement ne consomme que peu ou pas du tout d'énergie.

Par ces étangs, on entend toute dépression ou excavation naturelle ou artificielle dans laquelle s'écoulent naturellement les eaux usées brutes ou décantées, pour ressortir sans intervention extérieure d'aucune sorte, dans un état où elles ne risquent pas d'altérer la qualité du milieu récepteur.

Le procédé qui correspond à une autoépuration améliorée est tout indiqué pour les rejets des industries agro-alimentaires (cas de notre étude) et ne débitant pas de grandes quantités d'eaux usées.

Les conditions climatiques; la température doit être supérieure à  $5^{\circ}\text{C}$ , représentent le seul inconvénient de cette technique.

Remarquons que pour notre pays, à climat tempéré, le problème ne se pose pas.

Nous recommandons donc d'opter, dans la mesure du possible, pour les techniques d'épuration naturelles des eaux car fournissant à peu de frais des performances satisfaisantes, au lieu de leur substituer un traitement accéléré et concentré dans un espace restreint, au prix d'un appareillage complexe et une énorme consommation d'énergie.



## Références Bibliographiques

1) Gestion des eaux usées urbaines et industrielles.

W. W. ECKENFELDER.

2) Les eaux résiduaires industrielles .....

F. MEINCK

H. STOOF

H. KOHLSCHUTTER.

3) Mémento technique de l'eau .....

DEGREMONT.

4) Chimie des eaux .....

M. TARDAT - HENRY.

5) Fondements théoriques du traitement  
biologique des eaux (volume I) .....

H. ROQUES.

6) La pollution des eaux continentales .....

P. PESSON.

7) Epuration biologique des eaux usées  
urbaines (Tomes I et II) .....

A. E. K. GAID.

8) L'Analyse de l'eau .....

J. RODIER.

9) Dynamique fluviale .....

J. C. LEBRETON.

