

ECOLES NATIONALES POLYTECHNIQUES

DEPARTEMENT : Genie de l'environnement

PROJET DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplome d'ingénieur d'état

S U J E T

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN DISPOSITIF
POUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES
— BIOREACTEURS —**

Proposé par :

D^r. MAHIOUT S.

Etudié par :

M^r. ADNANE D.

Dirigé par :

D^r. MAHIOUT S.

PROMOTION : Juin 87

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

DÉPARTEMENT/ Génie de l'environnement.

PROMOTEUR/ Monsieur le Docteur Saïd MAHIOUT

ÉLÈVE INGÉNIEUR/ Monsieur ADNANE Idris

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHÈQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع:

هذه الدراسة تدخل في أحافه تحسين تقنيات معالجة المياه
الملوثة.
هذه التقنيات الحديثة هي المفاعل البيولوجية التي تعتمد على
المعالجة البيولوجية للمياه.
والهدف من هذه التجربة هي اخطاء قواعد علمية تسمح بمعرفة
مزايا طرق المعالجة البيولوجية لتنقية المياه الملوثة.

SUBJECT.

Ce travail est inclu dans la perspective de l'amélioration des techniques de traitement des eaux usées.

ces nouvelles techniques, sont les bio-réacteurs dont le fonctionnement est basé sur le traitement biologique.

Le but de cet essai, est de fournir des bases scientifiques qui permettront l'optimisation des performances de ces procédés de traitements biologique d'épuration des eaux usé.

SUBJECT.

This work is included within the perspective aiming the improvement of the technics concerned with waste water.

These new technics, are the bio-réactors whose system of function is based on biological traitment .

The aim of this essay, is to throw up some scientific bases which will to improve the performance of the proceddures of the biological purification of waste water.

DEDICACES

Je dedie cet ouvrage
à tous mes proches et
à tous mes amis

Driss. Adnane /



* — * — * — * — * — * — * — * — *
REMERCIEMENTS
* — * — * — * — * — * — * — * — *

Au terme de ce travail; je remercie vivement Monsieur le Docteur Saïd MAHIOUT, mon sympathique promoteur qui a su me guider dans l'élaboration de cette thèse.

Je remercie également;

- Mr BELLABRES, enseignant au génie chimique.
- Melle ARRAR, enseignante au génie chimique.
- Mme BOUCHTAOUI, enseignante au génie chimique.
- Mr BOUAMQUD, enseignant au génie de l'environnement.
- Mr KERBACHI, chef du département du génie de l'environnement.

Je tiens à porter toute ma reconnaissance et ma gratitude à toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, en particulier:

- Mr MOKHTARI Mohamed.
- Mr ABDELOUAHED (du journal UNITE).
- Mr BENDADA Abdelhak (de L'I.N.A).
- Mr BENDADA Azzedine (de l'ENP).
- Mr AMARA Azzedine .
- Melle BELKACEMI Malika.

Sans toute fois oublier les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

NOTATIONS UTILISEES.

D.C.O	Demande chimique en oxygène.
D.B.O	Demande biochimique en oxygène.
pH	potentiel d'hydrogène.
T	Température.
°C	Degré celsius.
g	Gramme.
h	Heure.
s	Seconde.
mn	Minute.
mg	Milligramme.
l	Litre.
kg	Kilogramme.
j	Jour.
M.E.S.	Matière en suspension.
MO	Micro-organismes.
m	Mètre.
K _g a	Coefficient global de transfert de matière.
K _L	Coefficient de transfert de matière.
a	Surface spécifique.
C*	Concentration de saturation en oxygène.
C	Concentration de l'oxygène dissous.
r	Vitesse de réaction.
x	Masse bactérienne.
t	Temps.
t ₀	Temps initial.
C'	Concentration à t ₀ .
DO	Densité optique.
VL	Volume liquide.
Vg	Volume gaz d'entrée.
VG	Volume gaz de sortie.

DEFINITIONS.

La demande biochimique en oxygène (D.B.O.).

Ce paramètre indique la quantité en oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assurer la destruction de la pollution par les matières organiques biodégradables comprises dans l'effluent.

Par convention la DBO_5 est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation à une température de 20 °C.

La demande chimique en oxygène (D.C.O.).

Ce paramètre représente la quantité d'oxygène qu'il faut fournir par des moyens chimiques puissants pour oxyder la pollution en matières organiques, biodégradables ou non, contenue dans l'effluent.

Les matières en suspension (M.E.S.).

C'est la pollution non dissoute, la plus facile à éliminer. Les eaux résiduaires sont caractérisées par l'importance des matières en suspension qu'elles contiennent.

Le potentiel d'hydrogène (pH).

Le pH nous renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité de l'effluent. A titre d'information, les micro-organismes tolèrent une gamme de pH relativement réduite;

5 - 9 : en milieu aérobie avec zone optimale comprise entre 6 et 8.

6 - 8 : en milieu anaérobie.

Composition d'une eau usée synthétique qui a les mêmes caractéristiques qu'une eau usée urbaine (d'après le Dr Saïd MAHIOU).

$C_6H_{12}O_6$	Glucose	1000	mg/l.
$MgSO_4$	Sulfate de magnesium	100	mg/l.
$CO(NH_2)_2$	Urée	227	mg/l.
$FeCl_3$	Chlorure ferrique	0,5	mg/l.
$CaCl_2$	Chlorure de calcium	7,5	mg/l.
KH_2PO_4		527	mg/l.
K_2HPO_4		1070	mg/l.

SOMMAIRE

	Page
<u>PARTIE THEORIQUE.</u>	I
1 <u>INTRODUCTION</u>	2
2 <u>LES EAUX USEES URBAINES</u>	3
2.1 Les eaux de ruissellement	3
2.1.1 Les eaux de pluie	3
2.1.2 Les eaux de lavage des chaussées	3
2.1.3 Les installations d'évacuation	3
2.2 Les eaux résiduaires d'origine domestique	4
2.2.1 Les eaux de cuisine	4
2.2.2 Les eaux de buanderies et salles de bains - les eaux de lavage des locaux	4
2.2.3 Les eaux de vanne	4
2.3 Les eaux résiduaires résultant d'activités artisanales	5
2.4 Evaluation de la pollution	7
2.4.1 Classification	7
2.4.1.1 Pollution biodégradable	7
2.4.1.2 Pollution organique non-biodégradable	-
2.4.1.3 Pollution toxique	-
2.4.1.4 pollution microbienne	8
2.5 Estimation	8
3 <u>LES EAUX USEES INDUSTRIELLES</u>	9
3.1 L'origine des effluents industrielles	-
3.1.1. Les eaux à caractère minéral dominant	-
3.1.2 Les eaux à caractère organique dominant	-
3.1.3 Les eaux à caractère mixte	10
3.2 Estimation	10
3.2.1 Composition	11
3.2.2 Débit	11
3.2.3 Charge D.B.O et D.C.O.	11

4	<u>TRAITEMENT BIOLOGIQUE</u>	
4.1	Introduction et classification	-
4.1.1	Traitement primaire	-
4.1.2	Traitement secondaire	-
4.1.3	Traitement tertiaire	-
4.2	Processus d'épuration biologique	I2
4.2.1	Métabolisme aérobie	I4
4.2.2	Apport d'oxygène du transfert d'oxygène	I7
4.3	Epuration biologique des effluents urbains	-
4.4	Epuration biologique des effluents industriels	I8
4.5	Place et avenir des installations conventionnelles	-
	<u>PARTIE EXPERIMENTALE.</u>	I9
5	<u>ANALYSES EXPERIMENTALES</u>	20
5.1	Approche du problème	-
5.1.1	Introduction	-
5.1.2	Processus d'analyse	-
5.1.2.1	Bilan d'oxygène	20
5.1.3.2	Evaluation de $K_L a$ et r_x en état stationnaire	-
		2I
5.2	Description de l'appareillage	24
5.2.1	Colonne à bulles	24
5.2.2	Dispositif experimental	25
5.3	Techniques de mesures	26
5.3.1	Oxymètre	26
5.3.2	Photo-mètre	27
5.3.3	pH-mètre	28
		-
6	<u>MESURES ET EVALUATIONS</u>	28
6.1	Méthodologie	-
6.1.1	Formation de la biomasse	28
6.1.2	Déroulement de l'expérience	29
6.1.2.1	Préparation des solutions	30
6.1.2.2	Mesures	-

	Page
6.2 Résultats expérimentaux	30
6.2.1 Résultats des mesures	34
6.2.2 Exploitation des valeurs mesurées	-
6.2.2.1 Evaluation des paramètres quantitatifs et qualitatifs en fonction du temps	-
6.2.2.2 Evaluation graphique du coefficient global de transfert de matière.	43
6.2.2.3 Evolution de r	57
6.3 Interprétation des résultats	58
6.3.1 Evaluation de la concentration bactérienne	-
6.3.2 Variation de la concentration de saturation en oxygène	63
6.3.3 Variation de la valeur de l'oxygène consommé	-
6.3.4 Variation du pH	65
6.3.4.1 Influence du pH en fonction de la dégradation du glucose	-
6.3.4.2 Influence du pH en fonction de la dégradation de l'urée	-
6.3.5 Coefficient global du transfert en oxygène $K_L a$	65
6.3.5.1 Coefficient du transfert K_L	67
6.3.5.2 Surface spécifique a	-
6.3.6 La vitesse de réaction	68
6.4 Conclusion.	69
<u>CONCLUSION GENERALE.</u>	73
7 LES REACTEURS MODERNES	74
7.1 Généralités	-
7.2 Réaction compact	76
7.2.1 Dimension et fonctionnement d'un réacteur compact	-
7.2.2 Traitement d'épuration suivant le réacteur compact	79
7.3 Résumé	80
Bibliographie	82
Notations	III
Définitions	IV
Composition d'eau usée synthétique.	V

المركز الوطني للدراسات والبحوث
BIBLIOTHEQUE — المركز
Ecole Nationale Polytechnique

PARTIE THEORIQUE.

1. INTRODUCTION.

Ces derniers temps, notre société s'est caractérisée par un accroissement démographique assez considérable qui s'est traduit par de grandes concentrations d'habitants dans les villes. Face à ces prévisions, l'homme a su développer son industrie, conditionnant ainsi son environnement et sa manière de vivre.

Par cet accroissement industriel, il a amélioré son niveau économique et social; cependant cette modernisation s'est accompagnée de nuisances de nature biologique, physique et chimique qui se répercutent, à court terme ou long terme, sur notre organisme.

Ces deux facteurs en l'occurrence, la croissance rapide des industries et la concentration des populations dans ces zones industrielles, se traduisent par une pollution des rivières, des lacs et des mers, causant ainsi un besoin accru en eau, or nos ressources sont limitées, les nappes d'eau souterraines sont loins d'être inépuisables. Alors il a fallu attendre ces dernières années pour que certains gouvernements, prennent conscience du problème et adoptent des mesures préventives.

Parmi ces solutions de traitement des eaux, il en existe une qui s'avère économique et efficace, cette méthode fait intervenir les avantages naturels qu'offre la nature, par l'intermédiaire des micro-organismes constituant le système écologique.

En effet jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, les rejets étaient surtout de nature organique et les micro-organismes éliminent facilement ces nuisances organiques en les transformant en sels minéraux.

Aujourd'hui, l'accroissement de la charge polluante et l'élaboration par l'industrie de produits difficilement biodégradable rendent le travail des micro-organismes extrêmement ou même, dans certains cas, impossible. Ces contraintes ont poussé les scientifiques à améliorer cette technologie d'épuration par des procédés qui permettent le développement et le contrôle des micro-organismes.

Dans la gamme de cette nouvelle technologie on peut citer les procédés de haute performance, utilisant la technique des bioréacteurs qui font, d'une manière générale, l'objet de notre étude. Ainsi un dispositif technique a été conçu au laboratoire afin de fournir des connaissances de bases sur l'apport d'oxygène dans les eaux usées.

Ce dispositif similaire à un réacteur à barbotage (ou colonne à bulles) nous permettra de suivre le processus du transfert de matière et l'étude des paramètres qui influencent ce processus en l'occurrence, la concentration de la masse bactérienne, les concentrations de saturation en oxygène, la concentration en oxygène dissous, le pH, et la température.

2. L'ES EAUX USEES URBAINES.

La pollution des eaux provient de différentes activités, et sous des formes les plus variées. Ainsi plusieurs critères ont été utilisés pour une classification, comme par exemple; l'origine, la nature des polluants, et la nature des nuisances.

Dans notre étude on se limitera à deux critères; L'origine et le caractère, pour aboutir à 3 groupes possibles: [1]

- 1) Eaux de ruissellement
- 2) Eaux résiduares d'origine domestique
- 3) Eaux résiduaire résultant d'activités artisanales

2.1 Les eaux de ruissellement.

Ces eaux proviennent des eaux de pluie et des eaux de lavage de chaussée.

2.1.1 Les eaux de pluie.

Les eaux de pluie présentent un débit fortement variable dont la répartition est aléatoire suivant les saisons. Les polluants sont en majeure partie:

- Des matières en suspension d'origine minérale.
- Des hydrocarbures provenant de la circulation automobile.
- Des débris végétaux.

2.1.2 Les eaux de lavage des chaussées.

Les eaux de lavage sont caractérisées par un débit variable périodique et de faible amplitude.

Les polluants sont les mêmes que ceux des eaux de pluie avec éventuellement des détergents en plus.

2.1.3 Les installations d'évacuation.

Dans beaucoup de villes, ces eaux ont un réseau spécifique appelé réseau d'égout. Ainsi on évite une désorganisation du fonctionnement des stations de traitement qui dans le cas échéant se traduit par:

- Une diminution de la charge organique.
- une diminution du temps de séjour dans les décanteurs et les bacs de traitement biologique

Le tableau N° 1, nous donne quelques caractères des eaux de ruissellement. [2]

Constituants (mg/l)	zone urbaine (eau de pluie)
Matière en suspension	5 - 1200
D.C.O	20 - 610
D.B.O	1 - 173
Phosphore total	0,02 - 7,3
Azote nitrique	-----
Azote total	0,3 - 7,5
Chlorure	3 - 35

- Tableau N° 1-

Caractéristiques des eaux de ruissellement. [2]

2.2 Les eaux résiduelles d'origine domestique.

2.2.1 Les eaux de cuisine.

Les eaux de cuisine englobent tous les débris correspondants: [1]

- A la préparation des aliments.
- Aux eaux de vaisselles riches en graisses plus ou moins émulsionnées par les détergents.

2.2.2 Les eaux de buanderies et salles de bains - les eaux de lavage des locaux.

Ces eaux contiennent en général: [1]

- Quelques matières minérales ou fibreuses entraînées en suspension.
- Des savons plus ou moins émulsionnés avec des graisses.
- Des détergents.
- Des sels dissous.

2.2.3 Les eaux de vanne.

Riches en matières hydrocarbonnées et en micro-organismes ces eaux permettent de disposer d'un substrat équilibré à l'entrée des

traitements biologiques, par un apport conjonctuel de l'azote, du phosphore et du potassium.

Ces eaux sont aussi à l'origine de la présence d'éléments pathogènes dans les stations tels que: [1]

- Les bactéries.
- Les virus.
- Les parasites divers.

2.3 Les eaux résiduaires résultant d'activités artisanales.

Des rejets très divers provenant de petites entreprises viennent le plus souvent aboutir dans le réseau d'égout des eaux usées urbaines et provoquent, alors, une variation dans la composition des effluents, qui se traduit par un caractère mixte en apportant: [1] & [3]

- Des toxiques ou inhibiteurs de la microflore active.
- Des quantités importantes de détergents.
- Des produits non ou faiblement biodégradables.
- Des produits à réaction acide ou basique marquée

Le tableau N° 2 nous présente un classement des produits polluants par groupes (d'après J.P PILLET guide de l'eau 1972.).

Tableau N° 2

Classement des produits polluants par groupes. [5]

Groupe	Genre	Exemple
I. Matières solides insolubles	1. Minérales	Sable, Argile, Boues métalliques, huiles.
	2. Organiques	fibres végétales, animales et synthétiques.
II. Acides et anhydrides	1. Minérales	Acide chlorhydrique
	2. Organiques	Acétique, Gallique
III. Bases minérales		Soude, Chaux, Ammoniac
IV. Sels (classes par cation)	1. minéraux	Azoture de Plomb chlorure de baryum
	2. Acides organiques	Acétate de cuivre Tartrate de potasse
V. Produits minéraux divers		chlorure, Brome, Soufre
VI. Produits Organiques	1. Hydrocarbures	Essence, Huile, ...
	2. Alcools	Méthanol, Alcool, ...
	3. Aldhydes et cétones	Formol, Acétone, ...
	4. Phénols	Phénols, Crésol, ...
	5. Esters	Chlorure de méthyle, ...
	6. Amines	Aniline, Benzidine, ...
	7. Dérivés halogènes	Chloro-méthane
	8. Produits divers	Matières amylacées, Glucose

2.4 Evaluation de la pollution.

2.4.1 Classification.

Nous classons les divers effluents suivant l'état sous lequel se trouvent les éléments polluants et la nature de la pollution créée.

2.4.1.1 Pollution biodégradable.

La pollution biodégradable constitue la fraction la plus importante dans les effluents urbains d'une façon générale, et domestique d'une façon particulière.

La biodégradabilité est évaluée suivant la consommation d'oxygène pour les micro-organismes dont l'unité de référence est la demande biochimique en oxygène ou DBO_5 . (voir définitions P. VI.)

La pollution biodégradable est riche en matière organique dont les composants sont en général les graisses, les matières azotées et les hydrates de carbone.

2.4.1.2 Pollution organique non- biodégradable.

L'utilisation ménagère des produits d'entretien et le déversement de nombreux petits établissements d'effluents à caractère industriel, diminuent la proportion biodégradable, telle sorte que les effluents deviennent plus difficiles à épurer.

Une valeur faible de D.B.O. traduit une situation doublement dangereuse, car:

- La pollution est ignorée
- La toxicité est élevée.

On utilise dans ces cas la demande chimique en oxygène D.C.O (voir définitions p. VI.), un critère de la pollution qui permet de déterminer le teneur en élément organique sans recourir à l'action des micro-organismes.

Cette fraction de pollution regroupe les détergents qui posent beaucoup de problèmes dans les stations de traitements car ils présentent. [1], [4], [5].

- Une biodégradabilité imparfaite.
- Une tendance à modifier les paramètres physico-chimiques du milieu.
- Une action défloculante sur les colloïdes.
- Un pouvoir bactéricide.

2.4.1.3 Pollution toxique.

Comme son nom l'indique elle résulte de la présence de poisons ou de toxiques.

Les toxiques minéraux ont une DBO_5 et DCO nulles tandis que les toxiques organiques violents peuvent avoir une DCO extrêmement faible par rapport à leur nocivité.

Pour cette fraction de pollution il est indispensable de faire intervenir d'autres critères d'évaluation autres que la DCO ou la DBO₅. [5]

2.4.1.4 Pollution micro-bienne.

Cette fraction de pollution se distingue par son contenu qui résulte d'une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale. [4]

De nombreux germes pathogènes peuvent être véhiculés par les eaux.

- Bactéries : fièvre thyphoïde salmonellose,
- Virus : hépatite, poliomyélite,
- Protozoaires: paludisme,

2.5 Estimation.

La pollution d'une eau usée urbaine est estimée suivant les paramètres suivants:[6]

- 1)- La DBO
- 2)- La DCO
- 3)- Les matières en suspension (voir p. IV)
- 4)- Le pH: alcalinité et acidité (voir p. IV)
- 5)- L'azote et le phosphore
- 6)- Charge en kg DBO₅/ m³.j

Le tableau N° 3, ci-joint nous donne un exemple d'évaluation de la pollution.

Heure de prélèvement	15	17	18
T° (°C)	18,4	18,9	18,1
pH	7,1	7,4	7,2
DBO ₅ (mg/l)	362	367	405
DCO (mg/l)	833	920	575
M.E.S (mg/l)	445	382	548
MH ₄ ⁺ (mg/l)	30,3	42,0	31,6
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	14,6	17,0	23,1
DCO	2,30	2,5	1,42
DBO ₅			

Tableau N° 3:
Caractéristiques des eaux résiduaires du réseau intercommunal de la région de Bou-ismail. [7]

On admet que cette pollution constitue un rejet sensiblement constant que l'on peut situer aux environs de: [1] & [3]

- 60 à 70 g/h/j de charge organique dissoute exprimée en DBO₅.

- 70 à 80 g/h/j de matière en suspension dont 1/3 est d'origine minérale et 2/3 d'origine organique.

Cette charge polluante peut-être transportée par un volume d'effluent plus ou moins important selon le degré d'urbanisation et le niveau de vie du pays considéré.

Ces variations sont regroupées en plusieurs périodicités:

- Journalières.
- Hebdomadaires.
- Saisonnières.

3. LES EAUX USEES INDUSTRIELLES.

3.1 L'origine des effluents industriels.

D'après la définition de MEINCK [8]; les eaux résiduaires industrielles ou professionnelles sont les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la transformation de matières premières.

Ces eaux résiduaires proviennent essentiellement de l'eau utilisée pendant les opérations de fabrication par voie humide.

La diversité de ces rejets nous a poussé à considérer 3 groupes d'effluents suivant leur composition.

3.1.1 Les eaux à caractère minéral dominant.

On trouve dans ce groupe par exemple [1]

- Les eaux d'exhaure de mine.
- Les eaux de lavage de gravier, carrière et toute extraction de minéraux.
- Les eaux d'industries siderurgiques.
- Les eaux des usines chimiques minérales.

Ces eaux sont fréquemment chaudes d'où l'appauvrissement en oxygène du milieu récepteur.

La charge en DBO₅ est très faible par contre la DCO dépend de la nature des composés minéraux en solution.

3.1.2 Les eaux à caractère organique dominant.

Cette partie regroupe en majorité les industries agro-alimentaires comme par exemple. [1]

- Abattoirs.
- Elevages industriels.
- Conserveries.
- Laiteries et fromageries.
- Sucres et distilleries.
- Brasseries, malteries, feculeries.

Ces eaux très fermentiscibles sont le plus souvent riches en minéraux en suspension, en débris végétaux et minéraux auxquels on ajoute, les graisses, les protéines, les glucides et les sels divers.

Avec une charge en DBO5 très élevée, ces effluents présentent le même profil que les effluents urbains, qui se prêtent en général bien au traitement biologique.

3.1.3 Les eaux à caractère mixte.

La composition de ces eaux est très variée en constituants plus ou moins facilement biodégradables,, on peut citer comme exemple les effluents: [1] & [8]

- Des industries textiles,
- Des raffineries et usines pétrochimiques,
- Des papeteries et industries du bois,
- De la carbochimie,
- Des industries pharmaceutiques,
- Etc.

3.2 Estimation.

La majorité des effluents pollués sont des mélanges très complexes, alors nous préférons évaluer les divers rejets par l'état sous lequel se trouvent les éléments polluants.

- Les matières dissoutes organiques ou minérales, biodégradables ou non, ionisées ou non, pouvant être toxiques ou inhibitrices par la micro-flore et la faune du milieu récepteur.

- Les matières colloïdales ou émulsionnées (graisses, huiles solubles) ou même associées sous forme de films superficiels ou de mousses (détergents).

- Les substances en suspension plus ou moins rapidement décantables minérales ou organiques, certaines peuvent être biodégradables.

Le tableau N° 4 ci-dessous donne quelques caractéristiques des effluents industriels. [9]

Paramètre	Résultat
Température (°C)	22
Matières décantables (mg/l)	0,8
M. E. S. (mg/l)	920
Phosphate (mg/l)	11
Graisse (mg/l)	10.000
Zn (mg/l)	27,5
pH	4

Tableau N° 4:
Caractéristiques des effluents de l'entreprise nationale d'ameublement et de transformation du bois, Rouiba. [9]

3.2.2 Débit.

Contrairement aux eaux usées ménagères et urbaines, les eaux résiduaires industrielles sont variables pour chaque branche de l'industrie et même souvent pour chaque établissement industriel, ainsi on admet qu'il faut. [1]

- 25 litres d'eau pour fabriquer 1 litre de bière
- 100 litres d'eau pour fabriquer 1kg de sucre
- 0,5 à 2 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne de lait
- 200 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne de papier
- 3 à 400 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne d'engrais
- 135 tonnes d'eau pour fabriquer 1 tonne d'acier

3.2.3 Charge DBO et DCO.

- La DBO₅ évaluera la mesure des teneurs en matières carbonées biodégradables.

- La DCO évaluera la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder, dans un certain contexte réactionnel, les substances oxydables contenues dans l'échantillon.

- Le rapport DBO₅/DCO indique la fraction biodégradable des composés oxydables.

L'écart entre la DCO et la DBO₅, nous permet d'apprécier l'importance des polluants peu ou pas biodégradables en raison de leur structure ou à cause d'un effet inhibiteur.

4. TRAITEMENT BIOLOGIQUE.

4.1 Introduction et classification.

Il existe un grand nombre de procédés de traitement des eaux résiduaires dont l'application, d'une façon générale dépend des caractéristiques des eaux résiduaires et du degré du traitement désiré.

Considérant ce dernier critère on a réalisé la classification suivante.

- 1) Traitement primaire.
- 2) Traitement secondaire.
- 3) Traitement tertiaire.

4.1.1 Traitement primaire.

Généralement ils sont de nature mécanique (dégrillage-désablage) et physique (décantation-déshuilage).

Ces traitements concernant seulement les matières en suspension le rendement vis à vis des matières organiques dépasse rarement 30 à 40 %.

4.1.2 Traitement secondaire.

Le plus souvent ce traitement est de nature biologique qui est applicable que si les propositions d'azote et de phosphore ont les normes suivantes: [1]

- $DBO_5/N/P \approx 150/5/1$
- $DBO_5 > 0,3$
DCO.
- $DCO < 20$
N
- $DCO < 100$
P
- pH compris entre 6,5 et 8,5.

La limite de concentration en élément toxique ou inhibiteur doit être respectée.

Le rendement en épuration vis à vis des matières organiques totales est porté de 60 à 90 %.

4.1.3 Traitement tertiaire.

Ces traitements sont en général de nature physico-chimique (l'ozonation - l'hyperfiltration - échange d'ion) ou biologique (la nitrification - la dénitrification).

4.2 Processus d'épuration biologique.

Le traitement biologique des eaux est essentiellement développé comme moyen adapté à l'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles, qui consiste à favoriser la polifération de micro-organisme. Cette dernière entraîne l'oxydation d'une partie de polluants pour la production d'énergie vitale.

Par contre une seconde partie est utilisée pour la synthèse de nouvelles cellules vivantes. La figure N° 1 nous schématise d'une manière générale la dégradation des polluants par voie biologique. [5] & [10]

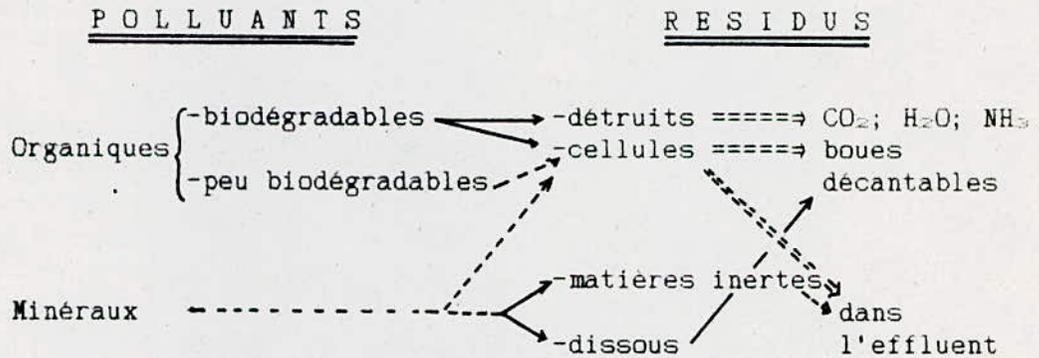


Figure N° 1 :

Dégradation des polluants au cours de l'épuration biologique. [5]

On peut classer les micro-organismes en:

- Germes aérobie
- Germes facultatifs
- germes anaérobies

Les micro-organismes aérobie, qui font partiellement l'objet de notre étude exigent de l'oxygène pour assurer leur métabolisme, et peuvent être le siège de 2000 réactions simultanées [5]. Chacune étant catalysée par une enzyme spécifique.

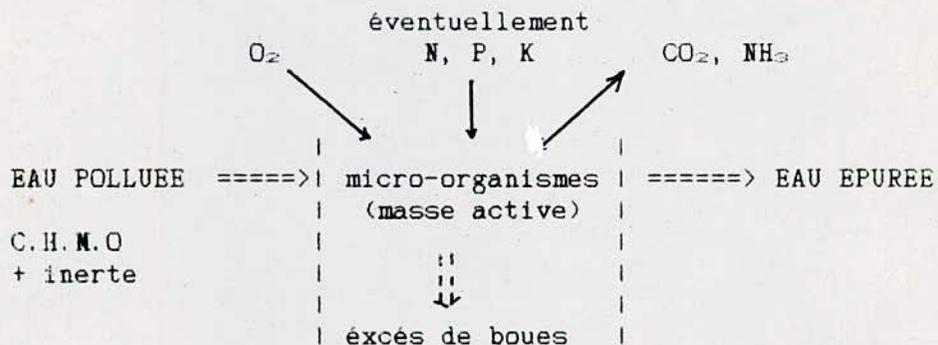


Figure N° 2:

Épuration biologique aérobie-principe. [5]

4.2.1 Métabolisme aérobie.

Avec l'apport d'oxygène le métabolisme de la matière organique, dans un procédé biologique, aérobie, peut être résumé par les réactions suivantes. [1], [6] et [11]

Matière organique + O₂ + N + P =====> MO + CO₂ + H₂O + résidu soluble
non-dégradable

M.O + O₂ =====> CO₂ + H₂O + N + P + résidu cellulaire non dégradable.

Le dimensionnement d'un réacteur biologique est basé sur la connaissance de la stoechiométrie et de la cinétique de ces deux réactions.

Ces bases seront développées ultérieurement dans notre étude expérimentale.

Le tableau N° 5 donne les caractéristiques des procédés aérobies d'épuration biologique. [5]

Tableau N° 5

Procédés d'épuration biologique. [5]

Procédés	Masse des micro-organismes			charge appliquée par m ³ /j	duree de traitement en jour	âge de la masse biologique en jour
	sur support	en suspension	recyclé			
1-Aération plongée		x	x	0,1 à 0,5 kg de DBO	1 à 5	10 à 15
2-Lagunage à forte charge		x			2 à 10	
3-Epandage	sol					
4-Lagunage à faible charge		x		5 à 10 g/m ³	5 à 30	
5-Lits bactériens				0,1 à 1,75 kg de DBO		
6-Lits bactériens à remplissage plastique	x					
7-Disques biologiques et tambours tournants	x					
8-Boues activées		x	x	0,5 à 5 kg de DBO	1 à 6	1 à 5

Tableau N° 5 (suite)

P R O C E D E S	P R O B L E M E S R E N C O N T R E S
1- Aération plongée	
2- Lagunage à forte charge	-homogénéisation à maintenir par aération artificielle -teneur élevée en M.E.S -risque de contamination de la nappe phréatique
3- Ependage	-contamination de la nappe phréatique
4- Lagunage à faible charge	-risque de contamination de la nappe phréatique -dépôt progressif
5- Lits bactériens	
6- Lits bactériens à remplissage plastique	-encombrant
7- Disques biologiques et tambours tournants	-encombrant
8- Boves activées	

4.2.2 Apport d'oxygène ou transfert d'oxygène.

Au contact d'oxygène avec une biomasse, le processus aérobie s'instaure spontanément et résulte par un transfert d'oxygène entre bulles et bactéries.

Ce processus d'oxygénation en présence d'une biomasse se réalise en plusieurs étapes [12]. (voir figure N° 3)

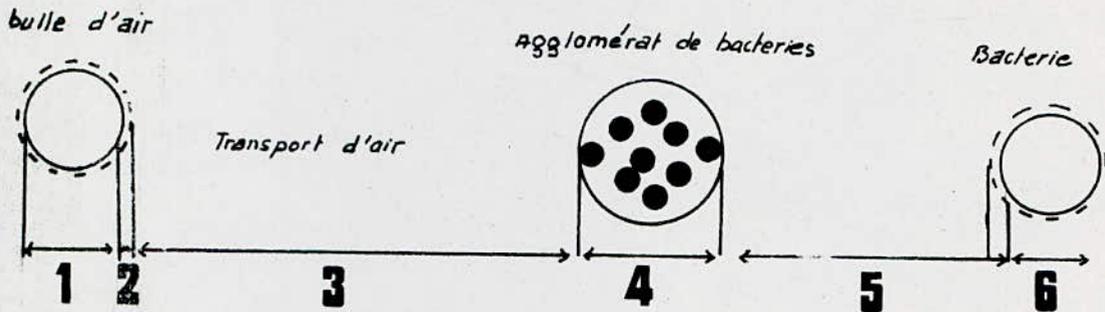


Figure N° 3

Processus d'oxygénation [12]

- 1 : Transport à l'intérieur de la bulle à la surface de contact.
- 2 : Transport à travers la surface de contact (interface) vers l'eau usée.
- 3 : Transport à travers la surface de contact et paroi de l'agglomérat
- 4 : transport à l'intérieur de l'agglomérat vers la paroi d'une bactérie
- 5 : Transport à travers la paroi
- 6 : Transport à l'intérieur de la paroi

Toutes ces résistances au transfert d'oxygène doivent être éliminées ou évitées pour améliorer les performances du procédé aérobie d'épuration biologique.

4.3 Epuration biologique des effluents urbains.

Les eaux d'égoûts urbains sont riches en matière organique et offrent des caractéristiques d'application du traitement biologique. [1]

- Un mélange équilibré dont les proportions $DBO_5/N/P$ sont de l'ordre de 100/5/5.

- Un mélange en proportion relativement constant qui englobe pour une moyenne journalière des matières organiques décomposables en graisse ($\approx 10\%$), en matières azotées ($\approx 40\%$) et en hydrates de carbone ($\approx 50\%$).

4.4 Epuración biologique des effluents industriels.

Les traitements biologiques d'épuration ont tout d'abord été appliqués aux eaux urbaines. Ces derniers temps, avec la conception de nouveaux procédés, les traitements biologiques, améliorés, en appliquant une correction du rapport C/N/P, ont été appliqués aux eaux résiduaires industrielles avec un vif succès; toute fois un recyclage des effluents traités est nécessaire.

L'une des caractéristiques des procédés d'épuration des eaux résiduaires par voies biologiques est un apport d'air fortement augmenté.

Le tableau N° 6 nous indique le comportement, de certains groupes de substance, à la dégradation biologique. [8]

4.5 Place et avenir des installations conventionnelles.

Les procédés biologiques ont l'avantage du prix de revient le plus faible et de produire moins de boues.

Seulement ils sont toute fois difficiles à bien conduire parce qu'ils sont très sensibles aux variations du milieu. Ils présentent aussi d'autres problèmes comme:

- Occupation de grande surface,
- Diminution du pouvoir d'épuration devant l'augmentation de la charge polluante.
- Maintien des normes de sécurité d'hygiène.

Pour ces raisons de nouveaux procédés de traitement ont été étudiés. Ils ont montré que sans sortir de la perspective du traitement biologique, il était déjà possible d'obtenir de bon résultats.

Ces procédés sont les bioréacteurs modernes dont notre étude expérimentale donne les bases de leur fonctionnement.

Tableau N° 6

Comportement de certains groupes de substance
à la dégradation biologique. [8]

Groupe de substances	Comportement à la dégradation biologique
Hydrocarbures saturés	- pratiquement non-biodégradables biologiquement. - Parfois toxiques
Oléfines avec 5 à 7 atomes de carbone	- Difficiles à dégrader biologiquement
Alcools	- Se dégradent bien en général
Phénols	- En général se dégradent bien - Les chlorophénols sont plus difficilement dégradables
Aldehydes	- Bien dégradables après acclimatation des MO - Sauf: benzaldehydes, 3 hydroxybutenal
Acide organiques et leurs sels et esters	- Se dégradent bien - Exceptions: thiocides
Esters	- D'ordinaire peu dégradables ou ne se dégradent qu'après adaptation des micro-organismes
Cétones	- Au point de vue dégradabilité biologique, les cétones occupent une position intermédiaire entre les acides organiques, les alcools et les aldehydes d'une part, et les esters d'autre part.
Acides aminés	- Presque toujours dégradables
Amides	- En général se dégradent bien
Alkysulfates	- Se dégradent facilement
Alcools d'acide gras	- Se dégradent facilement
Hydrates de carbone	- Se dégradent facilement
Composés non saturés	- Se dégradent bien; alcool allylique, acrylamide.

PARTIE EXPERIMENTALE

5. ANALYSES EXPERIMENTALES.

5.1 Approche du problème.

5.1.1 Introduction.

La dégradation de la matière par les micro-organismes dans un réacteur, est considérée comme un processus avec plusieurs réactions qui se font en parallèle avec l'apport de l'oxygène.

Pour suivre ce processus et définir son principe, il est plus facile d'étudier la variation de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau, où se font les réactions les plus importantes.

La mesure d'oxygène dissous dans l'eau est d'usage très fréquent dans le traitement biologique, pour un contrôle continu des M.O et le pilotage des stations d'épuration de grande technique.

Dans les stations d'épuration, l'air injecté cause une turbulence qui permet l'homogénéisation du contact entre les bactéries, l'air et le substrat.

Au laboratoire, on a essayé de créer les mêmes conditions à une échelle réduite, ainsi dans une colonne à bulles, on a introduit une solution d'eaux usées synthétiques (voir la composition p. V). Celle-ci est oxygénée en permanence avec un débit d'air constant.

Ce dispositif nous permettra de prendre des mesures quantitatives et qualitatives pour mettre en évidence le transfert d'oxygène entre la bulle d'air et la bactérie et déterminer par la suite, la vitesse de réaction et les influences:

- De la concentration de bactéries.
- Du pH.
- De la concentration de saturation en oxygène.
- De la concentration d'oxygène consommé.
- Et de la température.

sur la surface spécifique.

5.1.2 Processus d'analyse.

5.1.2.1 Bilan d'oxygène.

Le bilan d'oxygène qui résulte d'un transport physique de matière avec en parallèle des réactions biochimiques, peut être exprimé par la relation suivante [14].

$$\frac{dq}{dt} = K_{1a} \cdot (C^* - C) - r_x \quad (1)$$

Cette équation est exprimée en unité de concentration, dans laquelle:

- K_{1a} : coefficient global de transfert d'oxygène dont l'unité est [S^{-1}].
- K_1 : coefficient de transfert de matière de l'absorption d'oxygène dans l'eau en [m/s].
- a : interface spécifique entre les bulles d'air et le substrat [m^2/m^3].
- C^* : concentration de saturation en oxygène en [$mg O_2/l$].

- C : concentration en oxygène dissous dans l'eau en [mg O₂/l].
- r : réaction chimique d'oxygène de bactéries en [S⁻¹].
- x : densité cellulaire en [g/l].
- t : temps en seconde. [s]

5.1.2.2 Evaluation du K_{1a} et r_x en état stationnaire.

D'après l'équation (1) du bilan d'oxygène, on peut déterminer le coefficient volumétrique du transfert de matière, K_{1a} à partir d'un graphe, qui exprime la variation de la concentration en fonction du temps.

Dans un premier temps l'oxygénation est arrêtée pendant une période très courte, alors le terme de transfert de matière dans l'équation (1) sera égale à zéro, car l'absorption de l'oxygène à travers la surface du liquide sera négligée on aura: [14]

$$\frac{dc}{dt} = - r_x \quad (2)$$

Dans un deuxième temps, l'oxygénation est rétablie jusqu'à ce qu'on obtient un état stationnaire qui nous permettra de faire nos calculs. (voir figure N° 4)

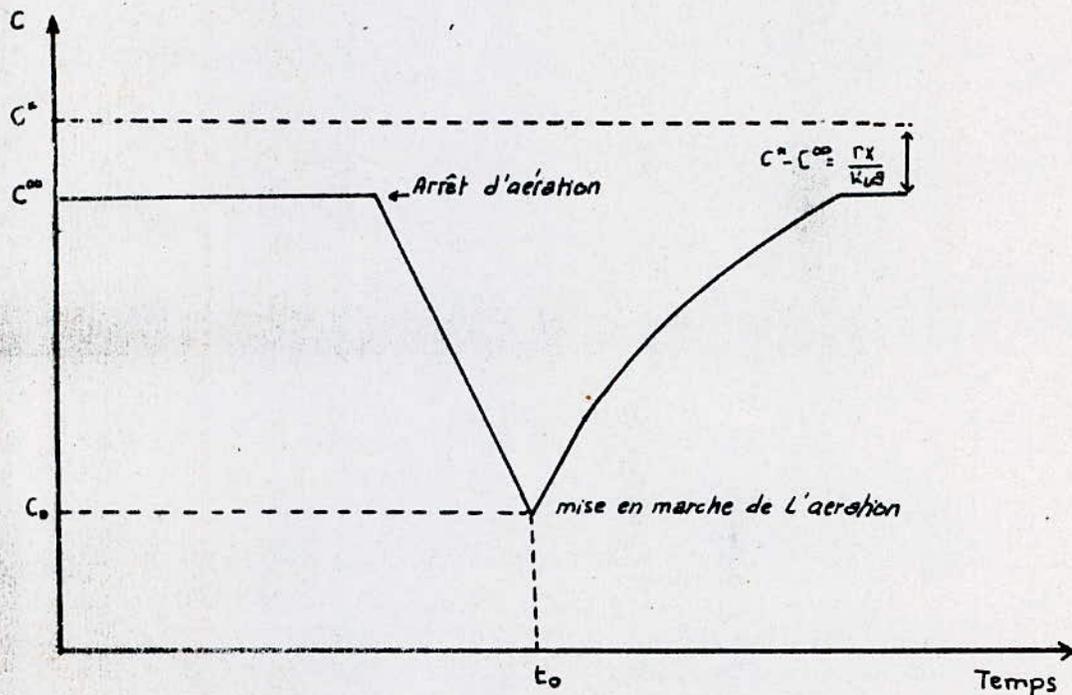


Figure N° 4:

Représentation graphique de la consommation d'oxygène en fonction du temps.

Rapport $\frac{dc}{dt} \xrightarrow{\infty} 0$ \implies le système est stationnaire
 et $C = C^\infty \implies \frac{dc}{dt} = 0 \implies k_{1a} (C^* - C^\infty) - rx = 0$

d'où $\frac{rx}{k_{1a}} = C^* - C^\infty \quad (3)$

En remplaçant dans l'équation N° 1.

$$\frac{dc}{dt} = k_{1a} [(C^* - C) - \frac{rx}{k_{1a}}] = k_{1a} [C^\infty - C] \quad (4)$$

En intégrant l'équation (4) on aura.

$$\int_{C_0}^C \frac{dc}{(C^\infty - C)} = \int_0^t k_{1a} dt \implies \ln \left[\frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C} \right] = k_{1a} t$$

Alors on peut avoir graphiquement k_{1a} suivant la figure N° 5.

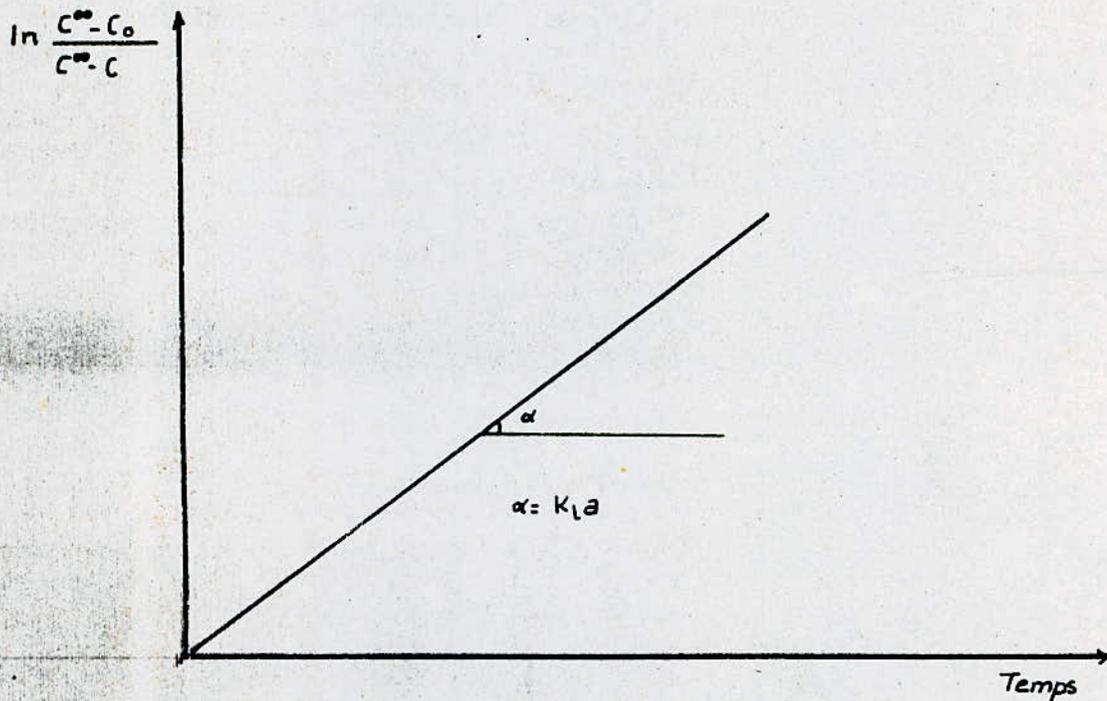


Figure N° 5:

Représentation qualitative de la variation de la consommation d'oxygène.

A partir d'un autre graphe (figure N° 6) qui exprime l'évolution de la concentration de saturation en oxygène dissous C^* en fonction $(dc/dt + rx)$, on peut déterminer rx .

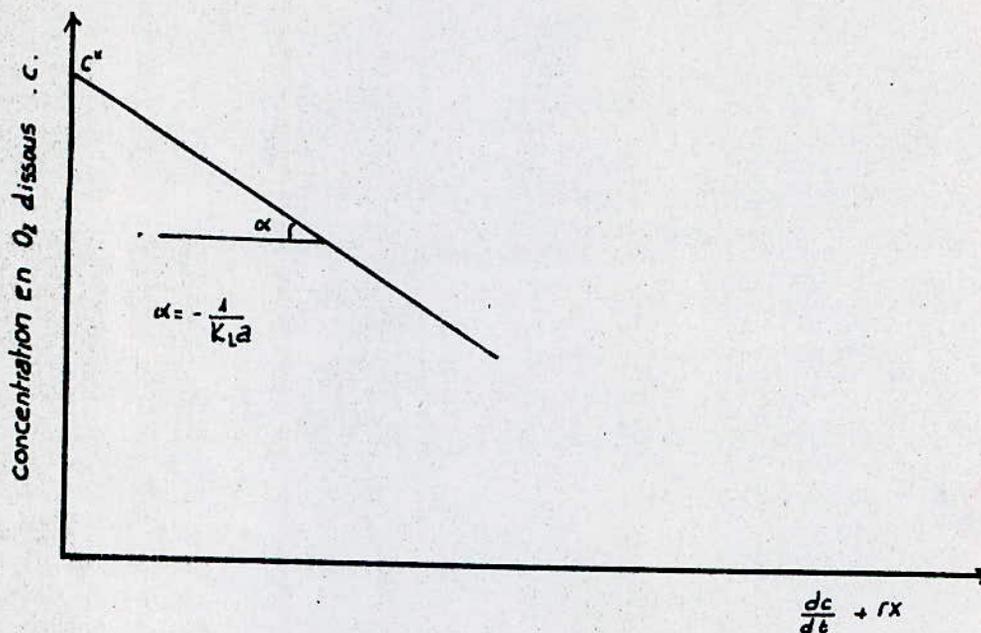


Figure N° 6:

$$C^* - C = f (dc/dt + rx)$$

Soit l'équation (1):

$$dc/dt = K_{1a} (C^* - C) - rx$$

$$\implies (dc/dt + rx) / K_{1a} = C^* - C$$

A l'état stationnaire on a:

$$C \implies C^{\infty}$$

$$dc/dt = 0 \implies (rx) / K_{1a} = (C^* - C^{\infty})$$

$$r = (C^* - C^{\infty}) K_{1a} / x$$

Pour l'élaboration de ces graphes qui nous permettront d'évaluer K_{1a} et rx , on procède pendant un intervalle de temps à la mesure des paramètres suivants:

- PH.
- Température.
- Concentration d'oxygène dissous.
- Concentration de la masse bactérienne.

5.2 Description de l'appareillage.

5.2.1 Colonne à bulle.

Dans notre manipulation on utilisera comme réacteur à essai, la colonne à bulles, dont le schéma est représenté par la figure N° 7 [14].

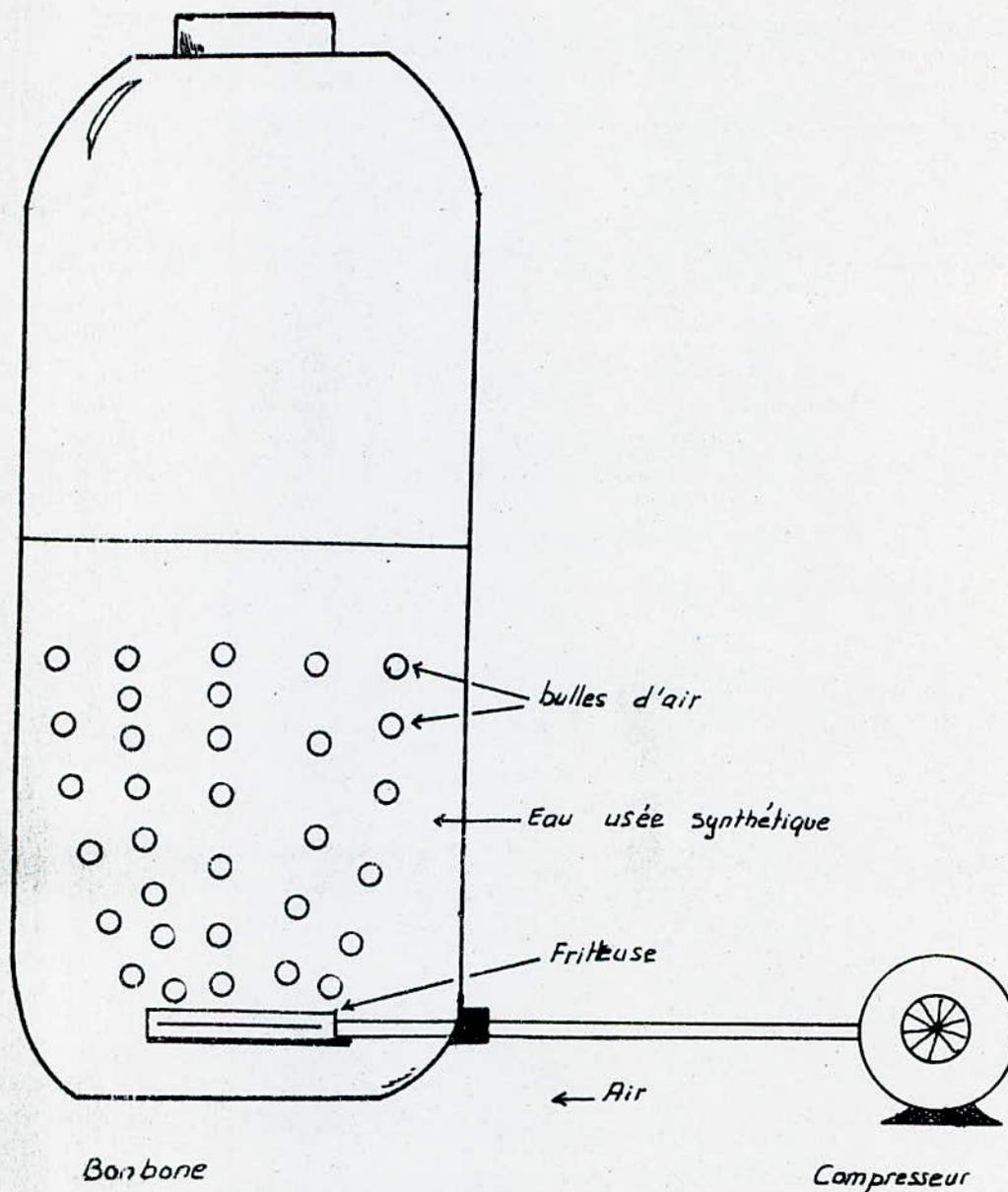


Figure n° 7:

Principe de la colonne à bulles.

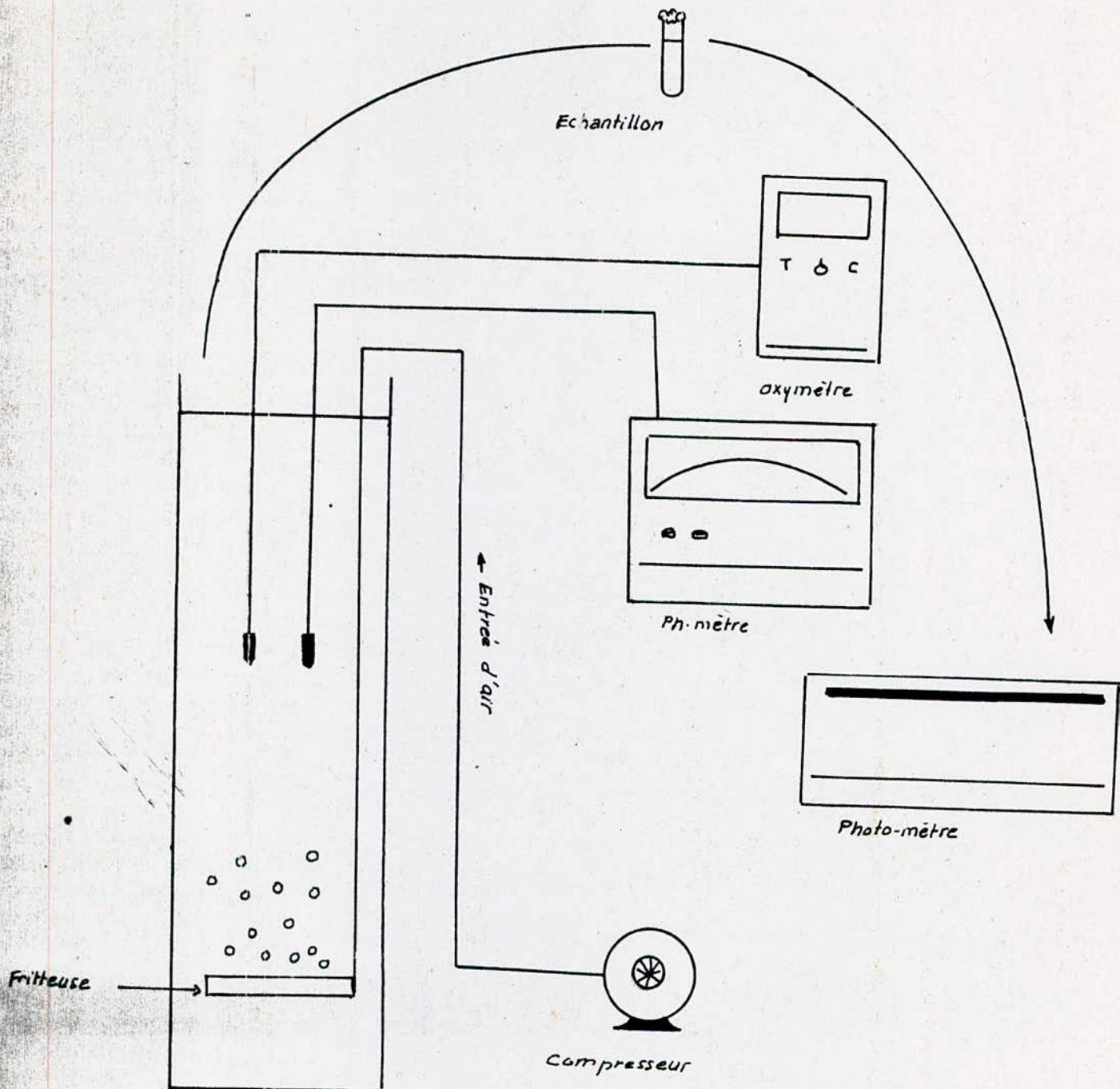


Figure N° 8:

Dispositif expérimental.

Notre réacteur à essai en l'occurrence, la colonne à bulles comprend d'une manière radicale:

- Un récipient ou bombonne de 25 litres,
- Un compresseur pour injection d'air (oxygène) avec une pression de sortie de 1,5 bar.
- Une friteuse qui nous permet de créer un panache de bulles de petite dimension.

5.2.2 Dispositif expérimental.

A cette colonne à bulles vient s'ajouter d'autres accessoires qui nous permettront d'effectuer nos mesures.

Ce dispositif, comme le montre la figure N° 8 comprend:

- un pH-mètre,
- un oxymètre,
- un photomètre,

5.3 Techniques de mesure.

Nos résultats qualitatifs et quantitatifs seront réalisés par ces appareils. Nous allons sommairement les présenter, suivant l'importance de leur fonction.

5.3.1 L'oxymètre.

Cet appareil constitue la base de notre dispositif par un affichage digital on peut connaître à tout moment;

- La concentration de l'oxygène dissous de notre solution,
- La concentration de l'oxygène de saturation,
- La température de notre solution,

Avant de procéder à de telles mesures, l'oxymètre est réglé à la pression de l'environnement, cette pression est mesurée par un baromètre.

L'oxymètre utilisé est du type oxi 521 à affichage digital, avec une électrode dont le schéma est représenté sur la figure N°9/ [14].

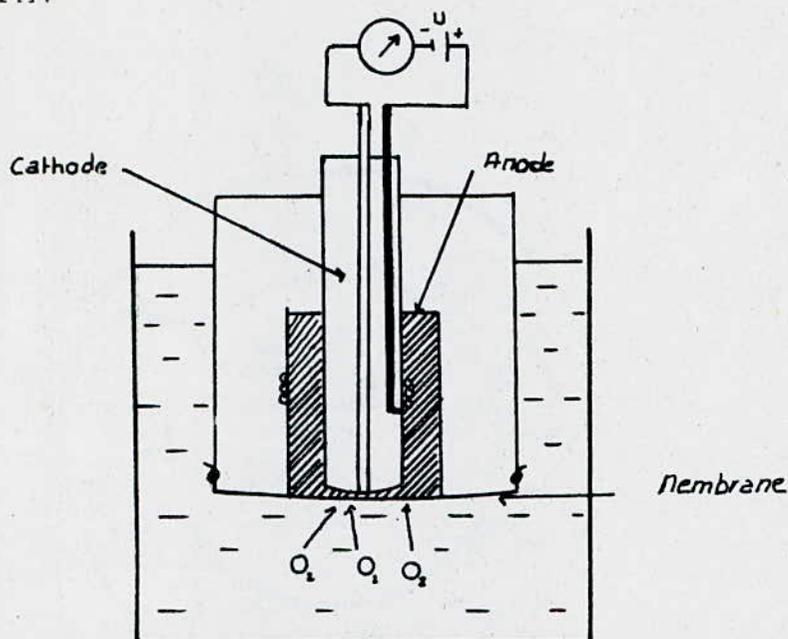


Figure N° 9:

Schéma de l'électrode.

Le principe est basé sur la différence de pression partielle d'oxygène dans la phase à mesurer et à l'intérieur de l'électrode.

Cette variation de pression crée un courant d'oxygène qui est diffusé à travers l'électrode et provoque une tension de courant électrique; celle-ci est digitalisée proportionnellement à la concentration d'oxygène.

5.3.2 Photomètre.

Grâce au photomètre on peut suivre le développement de nos micro-organismes. Ces mesures quantitatives ne sont pas données directement, en effet le photomètre basé sur le principe de BEER-LAMBERT; nous donne la densité optique de la masse microbienne qui est reconvertie, en gramme par litre, par une courbe d'étalonnage réalisée sur des échantillons de notre biomasse.

Pour réaliser la courbe d'étalonnage on a prélevé 6 échantillons de notre solution (une fois la biomasse est formée) à des intervalles différents.

Ces prélèvements dont la densité est évaluée par notre photomètre, sont filtrés et pesés. Les résultats obtenus nous ont permis de tracer la courbe de la densité optique en fonction du poids.

- * La courbe obtenue est représentée sur le graphe N° 10.
- * La longueur d'onde utilisée pendant notre expérience est 600 μ .

5.3.3 le p.H. mètre.

On utilise le pH-mètre à électrode, la valeur du pH est lue directement sur le cadran, mais auparavant, cet appareil est calibré par des solutions tampons.

6 MESURES ET EVALUATIONS.

6.1 Methodologie.

Notre manipulation comprend deux étapes, la première étant la préparation ou la formation de la biomasse, et la deuxième étape étant le déroulement et les mesures à effectuer.

6.1.1 Formation de la biomasse.

La préparation de la biomasse a duré 4 jours.

1^{er} jour:

On verse dans le bombonne une solution de 10 l d'eau usée synthétique avec les concentrations suivantes (données par le Dr MAHIOUT),

- $C_6H_{12}O_6$	- glucose	10.000 mg/l.
- $MgSO_4$	- sulfate de magnesium	1.000 mg/l.
- $CO(NH_2)_2$	- urée	2.270 mg/l.
- $FeCl_3$	- trichloroferrique	5 mg/l.
- $CaCl_2$	- chlorure de calcium	7,5 mg/l.
- KH_2PO_4	- dihydrogénophosphate de potassium	5.270 mg/l.
- K_2HPO_4	- hédrogénophosphate de potassium.	1.070 mg/l.

On met en marche le compresseur avec une pression de 1,5 bar. La solution est oxygénée. La fritteuse est placée de telle manière à avoir des bulles d'air dans tout le volume du réacteur. Le débit sera maintenu constant et permanent.

Le soir avant de partir on ajoute, dans la bombonne, une solution de glucose de 10 g/l.

Observations: notre solution a pris une couleur blanchâtre opaque.

2^{es} jour:

La biomasses n'étant pas obtenue on ajoute dans notre réacteur un litre de solution d'eau usée synthétique avec les concentrations suivantes:

- C ₆ H ₁₂ O ₆	=	10.000	mg/l.
- MgSO ₄	=	10.000	mg/l.
- CO(NH ₂) ₂	=	2.270	mg/l.
- FeCl ₃	=	5	mg/l.
- CaCl ₂	=	7,5	mg/l.
- KH ₂ PO ₄	=	5.270	mg/l.
- K ₂ HPO ₄	=	1.070	mg/l.

On vérifie toujours que le débit est constant, le soir on ajoute une solution de glucose de 10 g/l.

Observations: La couleur de la solution est devenue jaune-clair. On remarque qu'il y a formation de substances floconneuses qui nagent dans la solution.

3^e jour:

On ajoute un litre de solution avec les composés dont la concentration est la suivante.

- C ₆ H ₁₂ O ₆	=	1.000	mg/l.
- MgSO ₄	=	100	mg/l.
- CO(NH ₂) ₂	=	227	mg/l.
- FeCl ₃	=	0,5	mg/l.
- CaCl ₂	=	7,5	mg/l.
- KH ₂ PO ₄	=	527	mg/l.
- K ₂ HPO ₄	=	1.070	mg/l.

Observations: On constate que la couleur de la solution a viré au jaune plus foncé; les substances floconneuses sont de plus en plus compactes, et la formation du dépôt de couleur jaune-marron.

C'est le début de la formation de la biomasse. Dans certains cas pour accélérer cette formation, on a recours à un ensemencement avec par exemple des eaux usées d'égoûts.

Notre biomasse étant formée, on peut commencer nos mesures, mais il est important de rappeler qu'il faut nourrir ces micro-organismes, en versant dans le réacteur à la fin de chaque journée de manipulation, une solution de 10 g/l de glucose.

6.1.2 Déroulement de l'expérience.

Notre expérience se déroulera avec 3 solutions d'eaux usées synthétiques différentes. Tour à tour chaque solution, versée dans la colonne à bulle est étudiée en fonction du temps avec les appareils cités antérieurement.

6.1.2.1 Préparations des solutions.

Les solutions sont préparées aux concentrations suivantes:

SOLUTION	R E A C T I F S					
	glucose (mg/l)	MgSO ₄ (mg/l)	urée (mg/l)	Fel ₃ (mg/l)	KH ₂ PO ₄ (mg/l)	K ₂ HPO ₄ (mg/l)
Nº 1	1000	100	300	/	400	1000
Nº 2	2000	100	300	/	400	1000
Nº 3	3000	100	600	/	200	100

6.1.2.2 Mesures.

Dès que la solution est introduite dans la colonne on procède directement aux mesures,

- De la concentration de l'oxygène avec l'oxymètre
- De la température de la solution avec l'oxymètre
- De la valeur du pH avec le pH-mètre.

et on prélève un échantillon du bioréacteur, à des intervalles réguliers pour le faire passer au photo-mètre et évaluer ainsi sa densité optique.

Ces mesures sont effectuées,

- Pour la solution Nº 1 pendant 2 heures,
- Pour la solution Nº 2 pendant 5 heures,
- Pour la solution Nº 3 pendant 6 heures.

La concentration d'oxygène de saturation est évaluée en fonction de la température et la pression au laboratoire.

6.2 Résultats expérimentaux.

6.2.1 Résultats des mesures.

a) Soluton Nº 1.

Dans le tableau Nº 7 sont regroupées les valeurs de;

- De C en mg/l.
- De C* en mg/l.
- De x en g/l.
- De T en °C.
- Du pH.

La concentration de saturation est fonction de la température. Les valeurs de la concentration de saturation d'oxygène données par l'American Public Health Association [14] sont évaluées sous une pression normale de 1013 mbar. (voir tableau Nº 8).

* La pression normale où se déroule notre expérience avec la solution N° 1 est de $P_1 = 1024$ mbar.

* Pour utiliser les valeurs du tableau N° 8, on procède à une règle de trois:

Exemple.

A $T = 19,3$ °C.

pour $P = 1013$ mbar on a $C^* = 9,30$ mg/l.

donc pour $P = 1024$ mbar on aura $C^* = 9,44$ mg/l.

Tableau N° 7

Résultats de l'expérience avec la solution N° 1 pour $P_1 = 1024$ mbar.

Temps (m.n)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
0	1,253	1,408	8,55	19,30	9,40	6,95
5			8,29			
10	1,258	1,414	8,13	19,40	9,38	6,95
15			7,73			
20			7,63			
25			6,98			
30	1,262	1,418	6,46	19,40	9,38	6,94
35			6,00			
40			5,92			
45			5,74			
50	1,274	1,431	5,44	19,50	9,36	6,92
55			5,15			
60			5,35			
65	1,291	1,450	5,45	19,60	9,34	6,93
70			5,40			
75			5,40			
76			5,35			

- arrêt de l'oxygénation -

Tableau N° 7 (suite).

Temps.(m-n)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
-mise en marche de l'oxygénation-						
78			0,45			
80	1,283	1,442	2,00			
85			4,25			
90			5,00	19,70	9,32	6,90
95			5,44			
100	1,384	1,555	5,50			
105			5,50			
110			5,40	19,80	9,31	6,91
115	1,365	1,534	5,25			
120			5,25			
135	1,377	1,547	7,00	19,90	9,29	6,88
150			7,10			
155			7,14	20,1	9,25	6,86
160	1,470	1,652	7,20	20,1	9,25	6,88

Tableau N° 8.

Tableau pour déterminer la concentration d'oxygène de saturation en mg/l en fonction de la température à une pression normale de 1013 mbar d'après l'American Public Health Association.

t °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.62	14.58	14.54	14.50	14.46	14.43	14.39	14.35	14.31	14.27
1	14.73	14.19	14.15	14.11	14.07	14.03	14.00	13.96	13.92	13.88
2	13.84	13.80	13.77	13.73	13.70	13.66	13.62	13.59	13.55	13.52
3	13.48	13.45	13.41	13.38	13.34	13.31	13.27	13.24	13.20	13.17
4	13.13	13.10	13.06	13.03	13.00	12.97	12.93	12.90	12.87	12.83
5	12.80	12.77	12.74	12.70	12.67	12.64	12.61	12.58	12.54	12.51
6	12.48	12.45	12.42	12.39	12.36	12.33	12.29	12.26	12.23	12.20
7	12.17	12.14	12.11	12.08	12.05	12.02	11.99	11.96	11.93	11.90
8	11.87	11.84	11.81	11.79	11.76	11.73	11.70	11.67	11.65	11.62
9	11.59	11.56	11.54	11.51	11.49	11.46	11.43	11.41	11.38	11.36
10	11.33	11.31	11.28	11.26	11.23	11.21	11.18	11.16	11.13	11.11
11	11.08	11.06	11.03	11.01	10.98	10.96	10.93	10.91	10.89	10.85
12	10.83	10.81	10.78	10.76	10.74	10.72	10.69	10.67	10.65	10.62
13	10.60	10.58	10.55	10.53	10.51	10.49	10.46	10.44	10.42	10.39
14	10.37	10.35	10.33	10.30	10.28	10.26	10.24	10.22	10.19	10.17
15	10.15	10.13	10.11	10.09	10.07	10.05	10.03	10.01	9.99	9.97
16	9.95	9.93	9.91	9.89	9.87	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76
17	9.74	9.72	9.70	9.68	9.66	9.64	9.62	9.60	9.58	9.56
18	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.44	9.43	9.41	9.39	9.37
19	9.35	9.33	9.31	9.30	9.28	9.26	9.24	9.22	9.21	9.19
20	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04	9.03	9.01
21	8.99	8.97	8.96	8.94	8.93	8.91	8.89	8.88	8.86	8.85
22	8.83	8.82	8.80	8.79	8.77	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
23	8.68	8.67	8.65	8.64	8.62	8.61	8.59	8.58	8.56	8.55
24	8.53	8.52	8.50	8.49	8.47	8.46	8.44	8.43	8.41	8.40
25	8.38	8.36	8.35	8.33	8.32	8.30	8.28	8.27	8.25	8.24
26	8.22	8.21	8.19	8.18	8.16	8.15	8.13	8.12	8.10	8.09
27	8.07	8.06	8.04	8.03	8.01	8.00	7.98	7.97	7.95	7.94
28	7.92	7.91	7.89	7.88	7.86	7.85	7.83	7.82	7.80	7.79
29	7.77	7.76	7.74	7.73	7.71	7.70	7.69	7.67	7.66	7.64
30	7.63	7.62	7.60	7.59	7.58	7.57	7.55	7.54	7.53	7.51
31	7.50	7.49	7.48	7.47	7.46	7.45	7.44	7.43	7.42	7.41
32	7.40	7.39	7.38	7.37	7.36	7.35	7.34	7.33	7.32	7.31
33	7.30	7.29	7.28	7.27	7.26	7.25	7.24	7.23	7.22	7.21
34	7.20	7.19	7.18	7.17	7.16	7.15	7.14	7.13	7.12	7.11
35	7.10	7.09	7.08	7.07	7.06	7.05	7.04	7.03	7.02	7.01
36	7.00	6.99	6.98	6.97	6.96	6.95	6.94	6.93	6.92	6.91
37	6.90	6.89	6.88	6.87	6.86	6.85	6.84	6.83	6.82	6.81
38	6.80	6.79	6.78	6.77	6.76	6.75	6.74	6.73	6.72	6.71
39	6.70	6.69	6.68	6.67	6.66	6.65	6.64	6.63	6.62	6.61
40	6.60	6.59	6.58	6.57	6.56	6.55	6.54	6.53	6.52	6.51
41	6.50	6.49	6.48	6.47	6.46	6.45	6.44	6.43	6.42	6.41
42	6.40	6.39	6.38	6.37	6.36	6.35	6.34	6.33	6.32	6.31
43	6.30	6.29	6.28	6.27	6.26	6.25	6.24	6.23	6.22	6.21
44	6.20	6.19	6.18	6.17	6.16	6.15	6.14	6.13	6.12	6.11
45	6.10	6.09	6.08	6.07	6.06	6.05	6.04	6.03	6.02	6.01
46	6.00	5.99	5.98	5.97	5.96	5.95	5.94	5.93	5.92	5.91
47	5.90	5.89	5.88	5.87	5.86	5.85	5.84	5.83	5.82	5.81
48	5.80	5.79	5.78	5.77	5.76	5.75	5.74	5.73	5.72	5.71
49	5.70	5.69	5.68	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	5.62	5.61
50	5.60	5.59	5.58	5.57	5.56	5.55	5.54	5.53	5.52	5.51

b)- Solution N° 2.

dans le tableau n° 9 sont regroupées les valeurs de la manipulation effectuées avec la solution N° 2 sous une pression normale $P_2 = 1020$ mbar.

c)- Solution N° 3.

Les mesures ont été faites sous une pression $P_2 = 1022$ mbar. Les valeurs sont représentées dans le tableau N° 10.

6.2.2 Exploitation des valeurs mesurées.

Les valeurs obtenues au cours de ces 3 manipulations nous permettront de tracer plusieurs graphes.

On a préféré porté sur un même graphe plusieurs courbes pour permettre une meilleure comparaison des paramètres quantitatifs et qualitatifs.

Les arrêts d'oxygène sont aussi portés sur le graphe d'une façon schématique, car le débit d'air étant constant, on ne s'intéressera qu'à son arrêt et son ouverture.

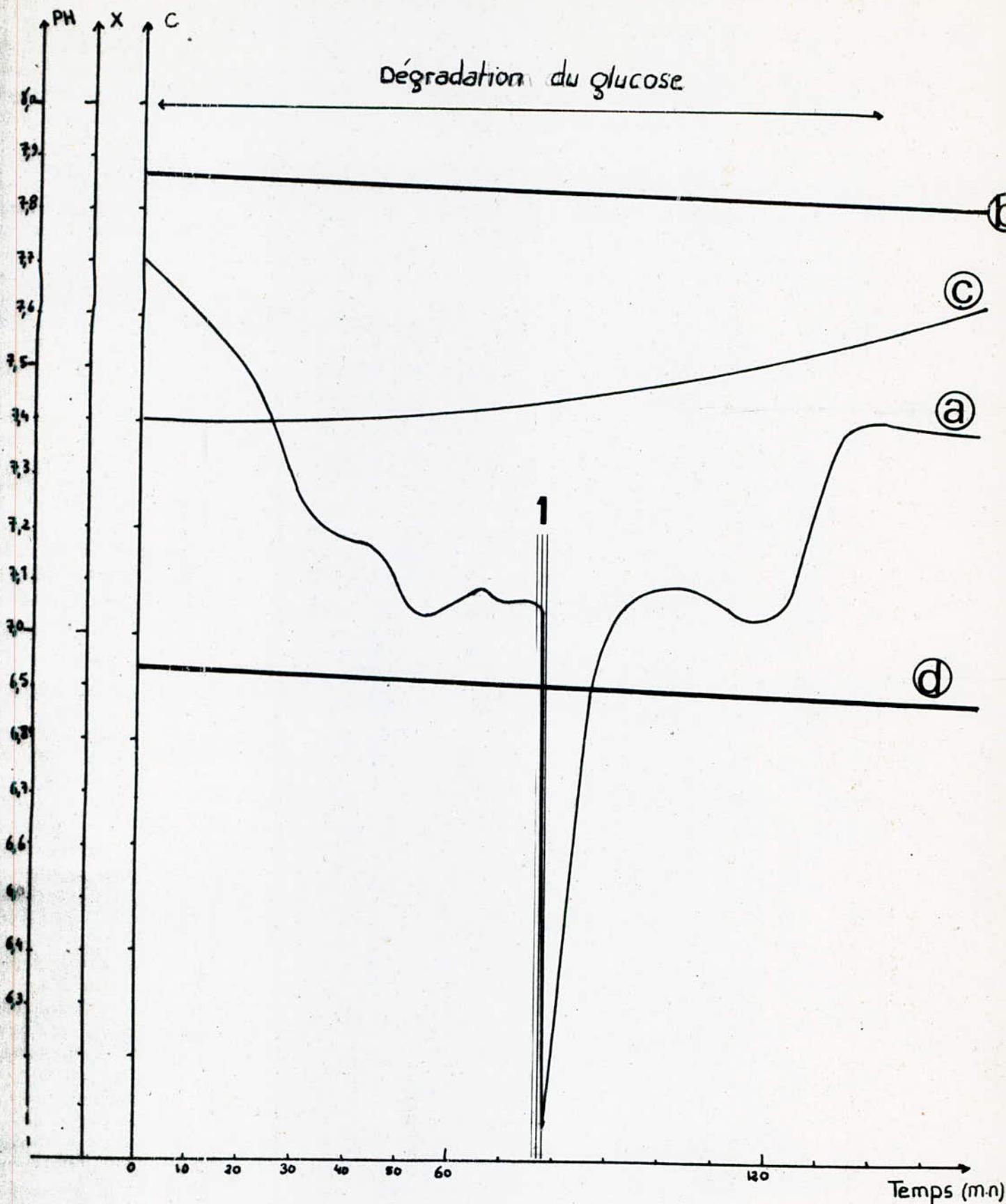
6.2.2.1 Evaluation des paramètres quantitatifs et qualitatifs en fonction du temps.

a)- Solution N° 1 .

Le graphe N° 1 regroupe 4 courbes;

- La courbe de la concentration de l'oxygène consommée en fonction du temps.
- La courbe de la concentration de saturation en oxygène en fonction du temps.
- La courbe de la masse microbienne en fonction du temps.
- La courbe du pH en fonction du temps.

On a effectué un seul arrêt d'oxygène pendant toute l'opération.



Graphique n°1. EVOLUTION, EN FONCTION DU TEMPS

DES PARAMETRES QUANTITATIFS ET QUALIFICATIFS DES EAUX
USEES SYNTHETIQUES.

LEGENDE:

- X: masse cellulaire. 1cm = 0,1g/l
- C: 1cm = 0,5 mg_{O₂}/l
- 1: Arrêts d'aération
- A: courbe de la variation de C
- B: courbe de la variation de X
- C: courbe de la variation de PH
- D: courbe de la variation du PH

-Tableau N° 9-

Resultats de l'experience avec la solution N° 2
sous une pression $P_2 = 1020$ mbar.

Temps(mn)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
0	0,690	0,775	9,55	18,9	9,43	6,98
5			9,50			
10			9,45			
15			7,75			
20	0,685	0,770	7,02	19,1	9,36	6,96
25			7,02			
30			6,51			
35			6,51			
40	0,690	0,775	5,58	19,3	9,36	6,92
45			4,73			
50			3,76			
55			3,18			
60	0,608	0,780	2,80	19,4	9,34	6,91
65			3,25			
70			3,30			
75			3,46			
76			3,44			

- Arrêt de l'oxygénation -

Tableau N° 9 (suite).

Temps(m.n)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
- Mise en marche de l'oxygénation -						
79			0,21			
80	0,721	0,810	1,00	19,6	9,30	6,88
85			3,75			
90			3,82			
95			3,76			
100	0,819	0,920	3,75	19,8	9,27	6,85
105			3,64			
110			3,55			
115			3,35			
120	0,846	0,950	3,25	19,9	9,25	6,8
125			3,10			
129	- A R R E T -		3,00	- A R R E T -		
130			1,88			
132			0,10			
135			4,00			
140	0,856	0,955	4,25	20,1	9,23	6,80
145			4,20			
150			4,30			
160	0,868	0,975	5,10	20,2	9,19	6,78
165			5,20			
175			5,25			
180	0,881	0,990	5,28	20,3	9,18	6,81
185			5,25			
195			5,40			

Tableau N° 9 (suite)

Temps(m.n)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
200	0,886	0,995	5,50	20,5	9,11	6,88
205			5,50			
210	- A R R E T -		5,50		- A R R E T -	
215			1,50			
218	- M A R C H E -		0,50		- M A R C H E -	
220	0,870	0,978	2,50	20,6	9,12	6,98
225			5,40			
235			6,05			
240	0,840	0,950	6,05	20,8	9,09	6,97
245			6,02			
255			6,00			
260	0,841	0,945	5,95	21, 0	9,05	6,98
265			5,92			
275			5,90			
280	0,801	0,900	5,85	21,1	9,03	7,00
285			5,82			
295			5,75			
300	0,757	0,850	5,75	21,2	9,02	7,01
305			5,55			
310			5,75			
320	0,623	0,700	6,00	21,3	9,01	7,02

b)- Solution N° 2.

Le graphe (N°2) présente aussi les mêmes caractéristiques avec en prime 2 autres arrêts de débit d'air,

c)- Solution N° 3.

Le graphe (N°3) présente les mêmes paramètres (C, C*, x, pH) en évolution en fonction du temps avec 4 arrêts du débit d'air. L'interprétation de ces résultats se fera ultérieurement.

Tableau N° 10 (suite).

Temps (mn)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
- M A R C H E -						
118			1,75			
120			0,30			
125			2,00			
130			3,40			
135			4,00			
140		1,354	4,00	20,9	9,09	6,87
145			3,80			
155			3,60			
160			3,15			
165			3,00			
170			3,10			
175			4,50			
180		1,426	5,00	21,0	9,06	6,85
185			5,15			
190			5,20			
200			5,30			
205			5,35			
208		1,543	5,40	21,2	9,03	6,82

- A R R E T -

Tableau n° 10 (suite)

Temps. (mn)	DO	x (g/l)	C (mgO ₂ /l)	T (°C)	C* (mgO ₂ /l)	pH
210			5,80			
215			4,90			
- M A R C H E -						
216			0,10			
220			5,10			
240			5,75			
245			5,70			
250			5,60			
255			5,60			
260			5,55			
265			5,50			
270			5,40			
275			5,40			
276			5,40			
280	- A R R E T -		5,40		- A R R E T -	
282	- M A R C H E -		1,50		- M A R C H E -	
285			3,15			
290			6,40			
295			6,70			
300			6,90			
305		1,550	7,00	21,6	8,95	7,01
310			7,10			

6.2.2.2 Evaluation graphique du coefficient du transfert d'oxygène.

Comme on a déjà expliqué antérieurement, le coefficient global de transfert d'oxygène est calculé graphiquement de la courbe représentant:

$$\ln \frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C} = K_L a t$$

Les valeurs, de la concentration à l'état stationnaire, (C^∞) et la concentration de l'oxygène consommée (C) sont tirées des courbes représentant l'évolution des paramètres quantitatifs et qualitatifs en fonction du temps. Quant à la concentration (C_0) elle correspond à la valeur de la concentration d'oxygène consommée, au moment (t_0) de la reprise de l'oxygénation.

a)- Solution N° 1

Les valeurs de C^∞ , C et C_0 sont représentées dans les tableau N° 11; par contre le graphe N° 4, nous donne la courbe de:

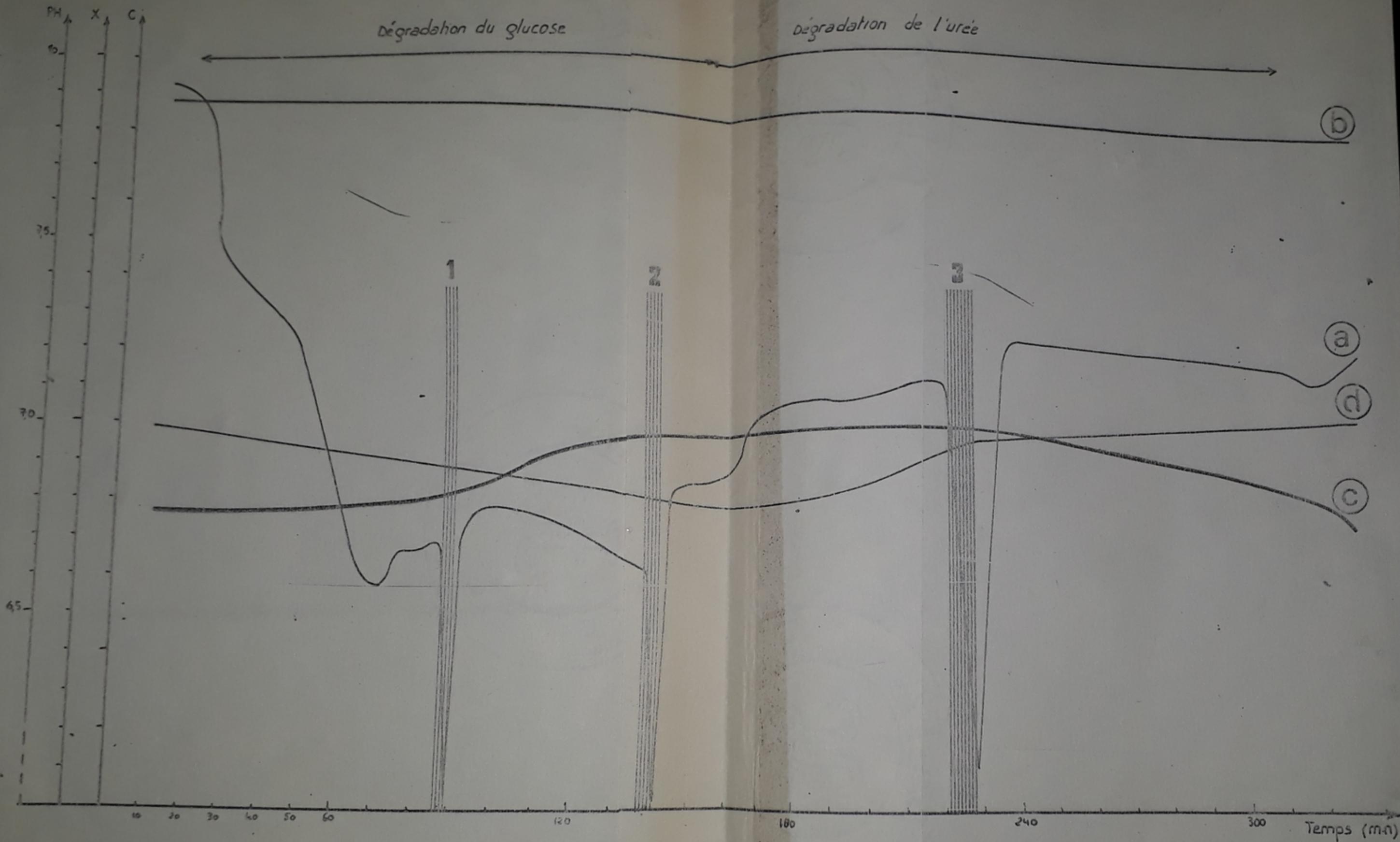
$$\ln \frac{(C^\infty - C_0)}{(C^\infty - C)} = K_L a t \quad \text{dont la pente nous donne la valeur de } K_L a$$

Pour la valeur de $K_L a$ se référer au tableau N° 14.

Tableau N° 11

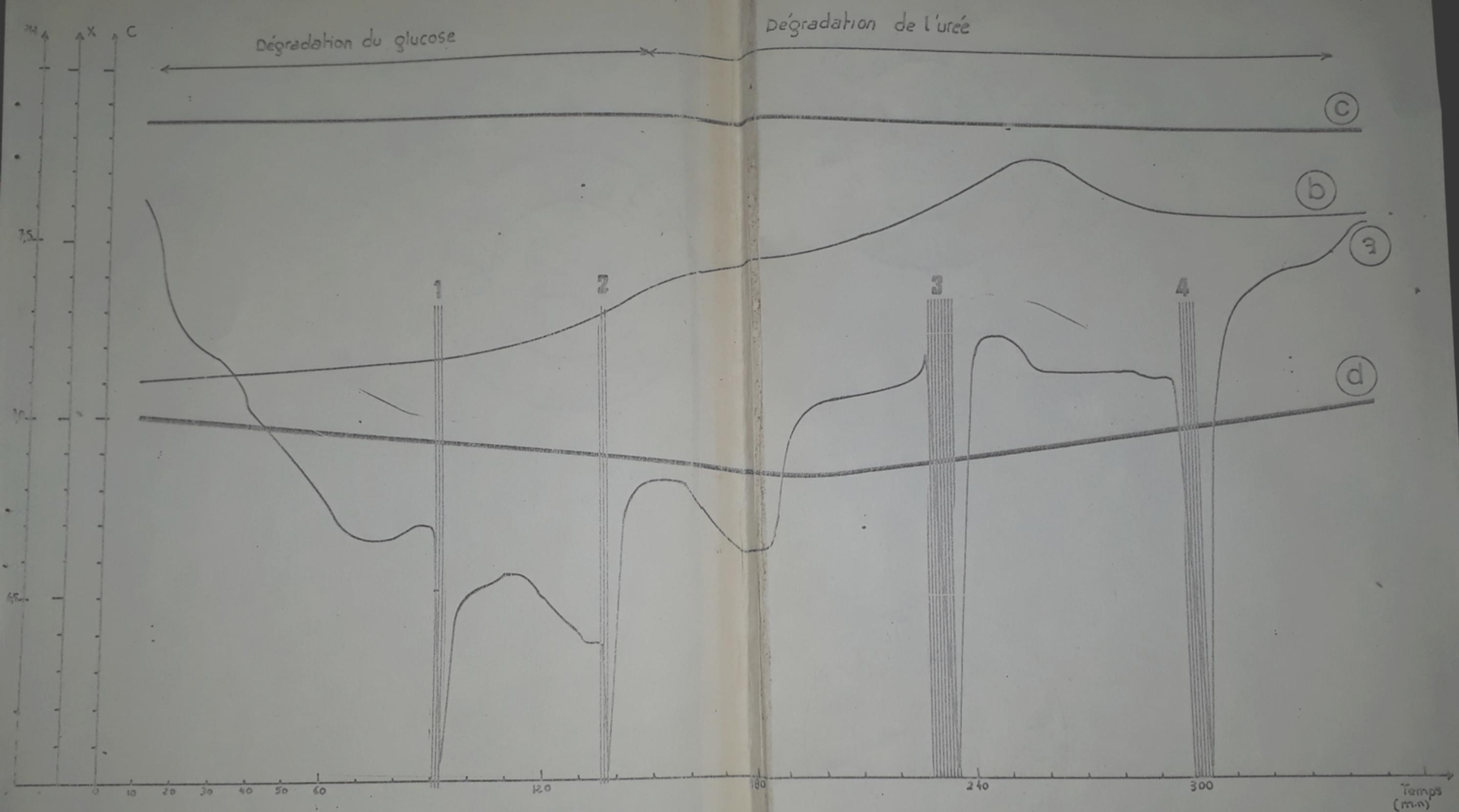
Valeurs de C_{∞} , C et C_0 pour la 1^e solution.

C [mgO ₂ /l]	$(t - t_0)$ [mn]	$\text{Ln} \frac{C_{\infty} - C_0}{C_{\infty} - C}$
$C_0 = 0,36$	0	
0,50	0,5	0,027
0,60	1	0,047
1,35	2	0,212
2,20	3	0,438
2,70	4	0,599
3,30	5	0,836
3,85	6	1,116
4,20	7	1,317
4,40	8	1,507
4,55	9	1,647
4,70	10	1,809
4,83	11	1,975
5,00	12	2,245
5,10	13	2,445
5,20	14	2,851
5,30	15	3,033
5,35	16	3,256
5,40	17	3,544
5,45	18	3,949
5,50	19	4,642
$C_{\infty} = 5,55$	20	



Graph n°2. EVOLUTION, EN FONCTION DU TEMPS DES PARAMETRES
 QUANTITATIFS ET QUALIFICATIFS DES EAUX LISEES SYNTHETIQUES

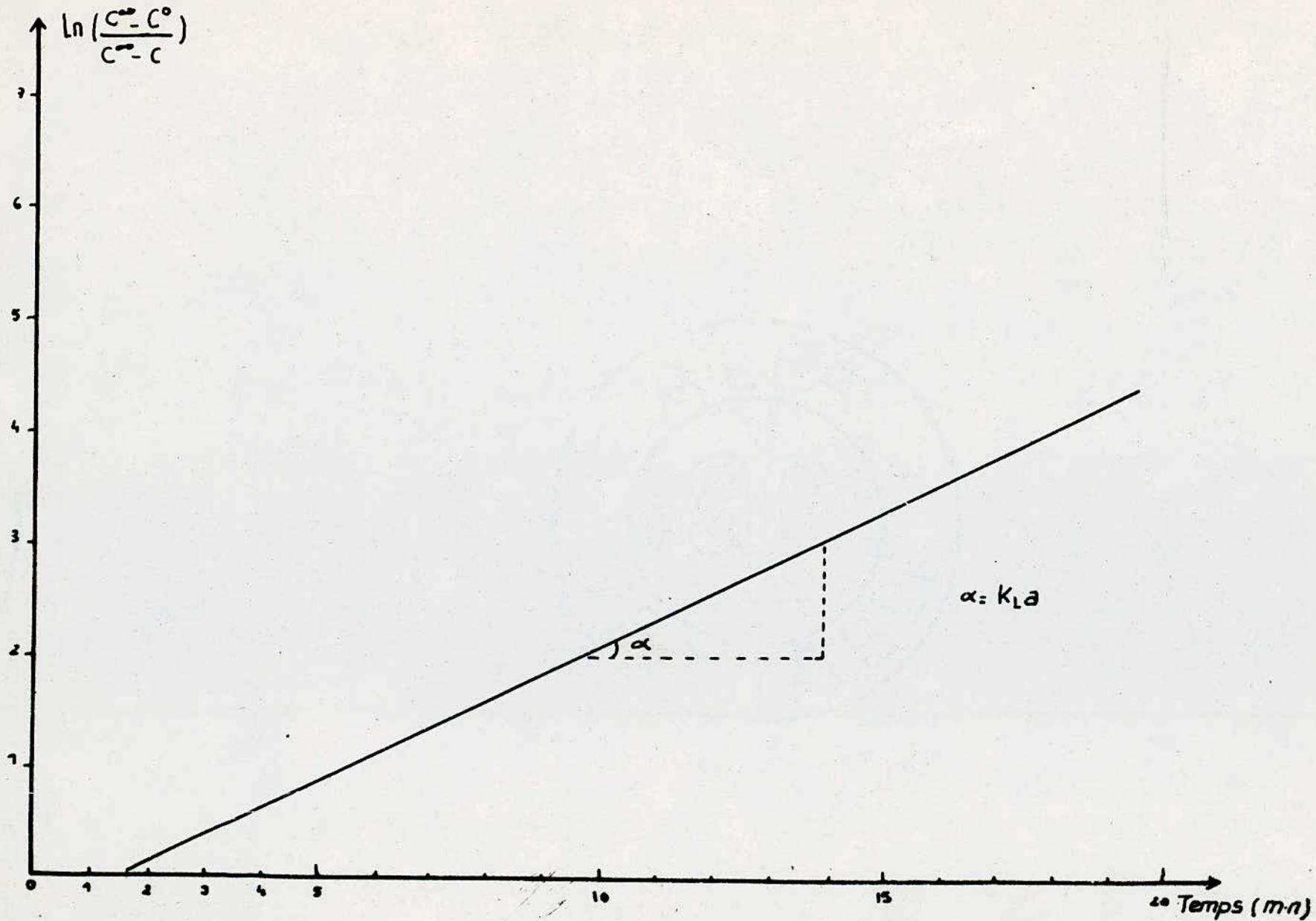
LEGENDE: X: masse cellulaire. 1cm = 0,1 g/l
 C: concentration en O₂ dissous. 1cm = 0,5 mg O₂/l
 1.2.3 / Arrêts d'aération
 A Courbe de la variation de C
 B courbe de la variation de C^{*}
 C courbe de la variation de X
 D Courbe de la variation du PH



Graphe N°3. EVOLUTION, EN FONCTION DU TEMPS DES PARAMETRES
 QUANTITATIFS ET QUALIFICATIFS DES ERUITS USEES SYNTHETIQUES

LEGENDE : X : masse cellulaire. 1cm = 0,1 g/l
 C : concentration en O₂ dissous. 1cm = 0,5 mg/l
 1, 2, 3, 4. Arrêts d'aération
 A : courbe de la variation de C
 B : courbe de la variation de X
 C : courbe de la variation de C*
 D : courbe de la variation du PH

PE 00987



GRAPHE N°4 : $\ln\left(\frac{C^\infty - C^0}{C^\infty - C}\right) = k_L a t$ (solution n°1)

b) Solution N° 2.

L'expérience avec la solution N° 2 comprend 3 arrêts d'aération d'où l'évaluation de 3 transferts d'oxygène (K_{La1} , K_{La2} et K_{La3}) qui sont déduits respectivement de la courbe N° 1, la courbe N° 2 et la courbe N° 3 dans le graphe N° 5.

Les valeurs des concentrations (C_0 , C^∞ et C) sont portées dans le tableau N° 12.1, 12.2 et 12.3, par contre, pour les valeurs de K_{La1} , K_{La2} et K_{La3} se référer au tableau N° 15.

c) Solution N° 3.

La manipulation avec la solution N° 3 comprend 4 arrêts d'oxygénation d'où l'évaluation de 4 transferts d'oxygène (K_{La1} , K_{La2} , K_{La3} et K_{La4}) qui sont déduits respectivement de la courbe N° 1, 2, 3 et 4 dans le graphe N° 6.

Les valeurs des concentrations (C_0 , C^∞ et C) sont portées dans les tableaux N° 13.1, 13.2, 13.3 et 13.4. Par contre pour les valeurs de K_{La1} , K_{La2} , K_{La3} et K_{La4} se référer au tableau N° 16.

Tableau N° 12.1.

Valeurs de C_0 , C et C^∞ pour la 2° solution
(1° arrêt).

C [mgO ₂ /l]	$(t - t_0)$ [min]	$\ln \frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
$C_0 = 0,19$	0	
0,43	0,50	0,068
1,35	1	0,380
2,50	2	0,993
3,50	3	2,322
3,65	4	2,861
3,70	5	3,133
3,75	6	3,507
3,80	7	4,114
3,82	8	4,519
3,85	9	5,905
$C^\infty = 3,86$	10	

Tableau N°12.2.

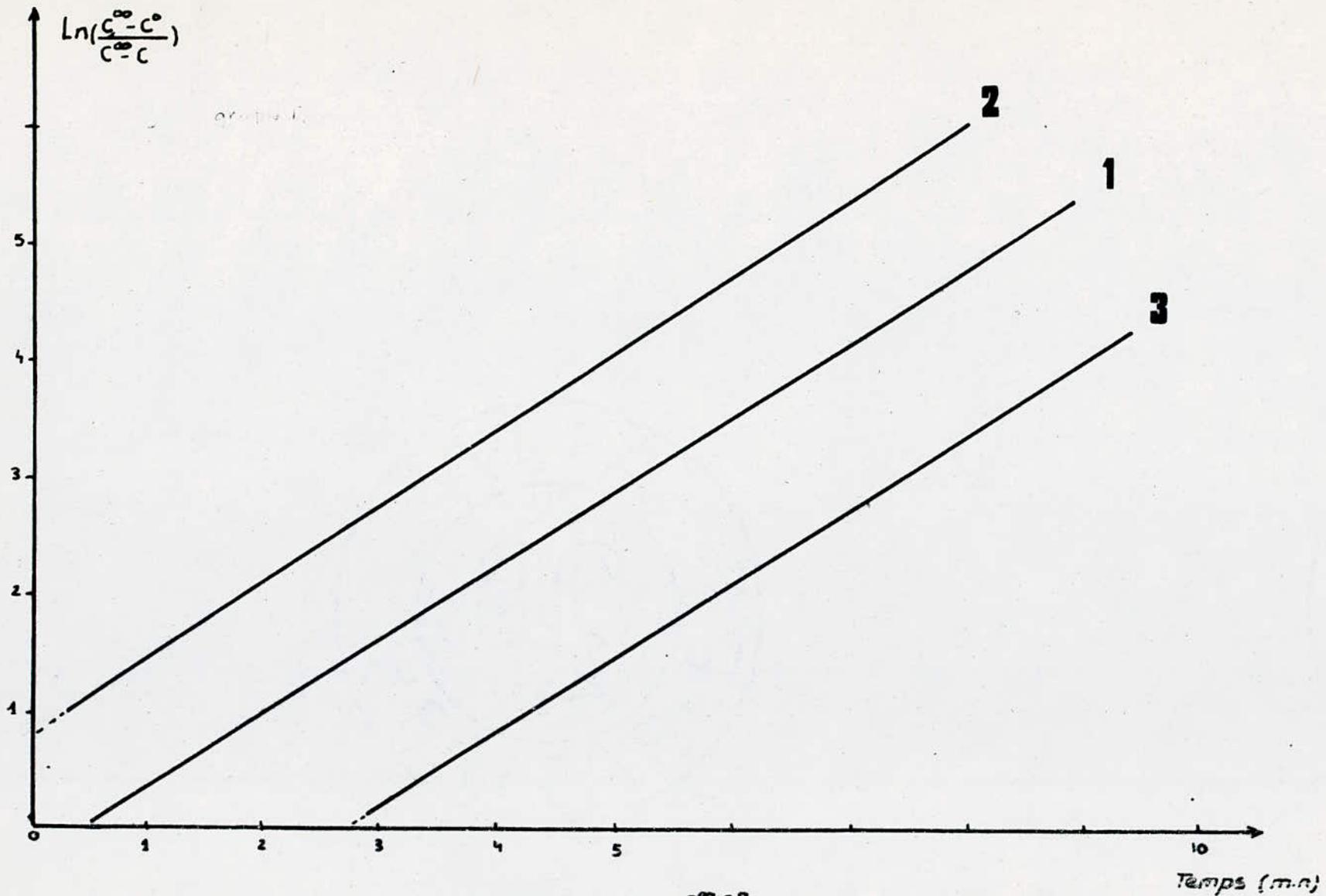
Valeurs de C, C[∞] et C₀ pour la solution N° 2.
(2° arrêt)

C [mgO ₂ /l]	(t - t ₀) [mn]	Ln $\frac{C^{\infty} - C_0}{C^{\infty} - C}$
C ₀ = 0,10	0	
0,60	0,50	0,129
1,40	1	0,379
3,25	2	1,446
4,00	3	2,930
4,10	4	3,530
4,15	5	4,075
4,18	6	4,635
4,20	7	5,328
C [∞] = 4,22	8	

Tableau N° 12.3.

Valeurs de C^∞ , C et C_0 pour la solution N° 2.
(3° arrêt).

C [mgC ₂ /l]	(t - t ₀) [mn]	Ln $\frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
$C_0 = 0,50$	0	
0,75	0,5	0,045
1,10	1	0,111
1,85	2	0,270
2,30	3	0,379
3,30	4	0,676
3,80	5	0,865
4,75	6	1,369
5,40	7	1,464
5,85	8	2,790
6,00	9	3,350
6,12	10	2,266
$C^\infty = 6,20$	11	



GRAPHE N°5 : $\ln\left(\frac{C^\infty - C^0}{C^\infty - C}\right) = k_{lat} t$ (solution n°2)

Tableau N° 13.1.

Valeurs de C, C^∞ et C_0 pour la solution N° 3.
(1° arrêt).

C [mgO ₂ /l]	(t - t ₀) [mn]	Ln $\frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
$C_0 = 0,21$	0	
0,62	0,5	0,188
0,85	1	0,312
1,36	2	0,656
1,85	3	1,159
2,20	4	1,788
2,34	5	2,218
2,43	6	2,643
2,50	7	3,174
2,53	8	3,531
2,54	9	3,685
2,56	10	4,090
2,57	11	4,378
$C^\infty = 2,60$	12	

Tableau N° 13.2.

Valeurs de C, C^∞ et C_0 pour la solution N° 3.
(2° arrêt).

C [mgO ₂ /l]	(t - t ₀) [min]	Ln $\frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
$C_0 = 0,09$	0	0,094
0,45	0,50	0,155
0,67	1	0,490
1,65	2	0,642
2,00	3	1,477
3,20	4	2,149
3,65	5	2,415
3,76	6	2,908
3,90	7	3,166
3,95	8	3,360
4,00	9	3,514
4,00	10	5,306
$C^\infty = 4,12$	11	

Tableau N° 13.3.

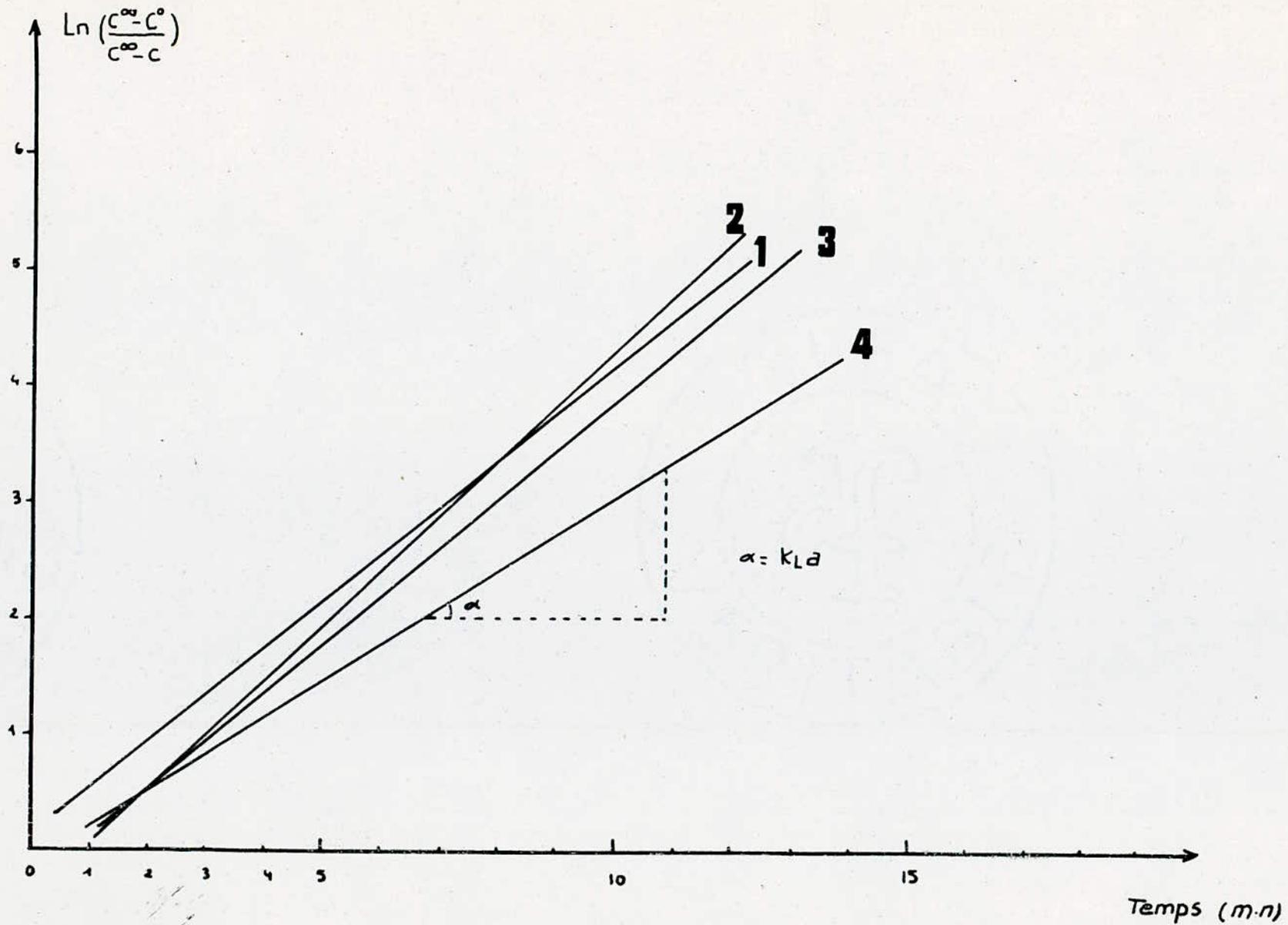
Valeurs de C , C^∞ et C_0 pour la concentration N° 3.
(3° arrêt)

C [mgO ₂ /l]	$(t - t_0)$ [mn]	$\text{Ln} \frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
$C_0 = 0$	0	
0,75	0,5	0,116
1,75	1	0,267
2,40	2	0,484
3,65	3	0,895
4,45	4	0,895
5,35	5	1,288
5,75	6	2,070
5,90	7	2,617
5,92	8	2,856
5,95	9	3,456
5,98	10	3,628
6,00	11	3,835
6,10	12	4,002
$C^\infty = 6,11$	13	6,400

Tableau N° 13.4.

Valeurs de C, C[∞] et C₀ pour la solution N° 3.
(4° arrêt).

C [mgO ₂ /l]	(t - t ₀) [mn]	Ln $\frac{C^\infty - C_0}{C^\infty - C}$
C ₀ = 0,10	0	
0,50	0,5	0,056
1,60	1	0,228
3,14	2	0,534
4,12	3	0,792
5,20	4	1,182
5,60	5	1,380
6,14	6	1,725
6,55	7	2,100
6,75	8	2,351
6,95	9	2,687
7,10	10	3,045
7,25	11	3,604
7,35	12	4,297
7,40	13	4,990
C [∞] = 7,45	14	



GRAPHE N°6: $\ln\left(\frac{C^\infty - C^0}{C^\infty - C}\right) = k_L a t$ (solution n°3)

6.2.2.3 Evolution de la vitesse de réaction.

Dans des conditions de régime stationnaire la concentration $C = C^{\infty}$ et $dc/dc = 0$ (la concentration étant constante)

Dans ce cas le produit rx peut être calculé en effet:

On a l'équation .

$$\frac{dc}{dt} = K_{La} (C^* - C) - rx$$

$$\frac{dc}{dt} + rx = K_{La} (C^* - C)$$

$$C^* - C = \frac{1}{K_{La}} \left(\frac{dc}{dt} + rx \right)$$

On trace la courbe d'équation $C^* - C = \frac{1}{K_{La}} Z$

$$Z = \left(\frac{dc}{dt} + rx \right)$$

$\frac{1}{K_{La}}$ étant le coefficient directeur de la droite à $C = C^{\infty}$

$$A C = C^{\infty},$$

l'équation $C^* - C = \frac{1}{K_{La}} \left(\frac{dc}{dt} + rx \right)$ devient

$$C^* - C^{\infty} = \frac{1}{K_{La}} rx \quad \text{=====} \quad r = \frac{(C^* - C) K_{La}}{x}$$

La valeur de x est connue à chaque instant.

a) Solution N° 1

La droite est portée sur le graphe N° 7, la tableau N° 14 résume d'une manière générale le résultat de nos travaux.

b) solution N° 2

Comme on a effectué 3 arrêts d'aération pendant notre expérience. On a tracé 3 droites d'où on a déduit nos vitesses de réactions (voir graphe N° 8).

La tableau N° 15 résume aussi les résultats de nos travaux avec la solution N° 2.

c) Solution N° 3.

Sur cette solution l'expérience s'est réalisée avec 4 arrêts d'oxygénation. Les vitesses de réaction sont déduites des 4 courbes portées sur le graphe N° 9.

Le tableau N° 16 résume les résultats de nos travaux effectués avec la solution N°3.

6.3 Interprétation des résultats.

Plusieurs facteurs interviennent dans le fonctionnement des dispositifs d'aération et influencent l'évolution des paramètres qui régissent le processus de dégradation.

Dans notre essai, avec la colonne à bulle, on s'intéressera d'une manière générale aux influences du pH, de la concentration bactérienne et de la concentration de saturation en oxygène, sur la valeur du $K_L a$ et la vitesse de réaction.

6.3.1 Evaluation de la concentration bactérienne.

La courbe de la concentration bactérienne fait apparître plusieurs périodes ou phases.

a) Phase d'adaptation ou latence.

Cette phase correspond à la première étape de notre essai où les micro-organismes reprennent leurs activités suite à l'enrichissement du milieu par un composé facilement dégradable en l'occurrence le glucose.

Cette phase se distingue par une période très courte est visible, dans les courbes de nos 3 essais.

b) Phase de croissance.

Cette période qui varie linéairement en fonction du temps, correspond à une augmentation de la biomasse et d'édification de nouvelles cellules.

Cette variation est visible sur les graphes N° 1, 2 et 3

- Pour le graphe N° 1, elle varie de 1,408 g/l à 1,652 g/l
- Pour le graphe N° 2, elle varie de 0,765 g/l à 0,988 g/l
- Pour le graphe N° 3, elle varie de 1,156 g/l à 1,710 g/l

L'augmentation de la masse bactérienne est due à la disponibilité du glucose, un composé facilement dégradable dont l'énergie de dégradation sert à l'édification de nouvelles cellules.

L'utilisation du substrat au cours de la croissance se fait, soit immédiatement, soit après stockage momentané sous forme adsorbée.

Donc le maximum de la courbe de la variation de la masse bactérienne, ne correspond pas à la dégradation totale du glucose, celle-ci s'est fait bien avant, alors intervient le processus de stockage qui donne un sursis à la linéarisation de la courbe jusqu'aux valeurs citées.

c) Phase de déclin.

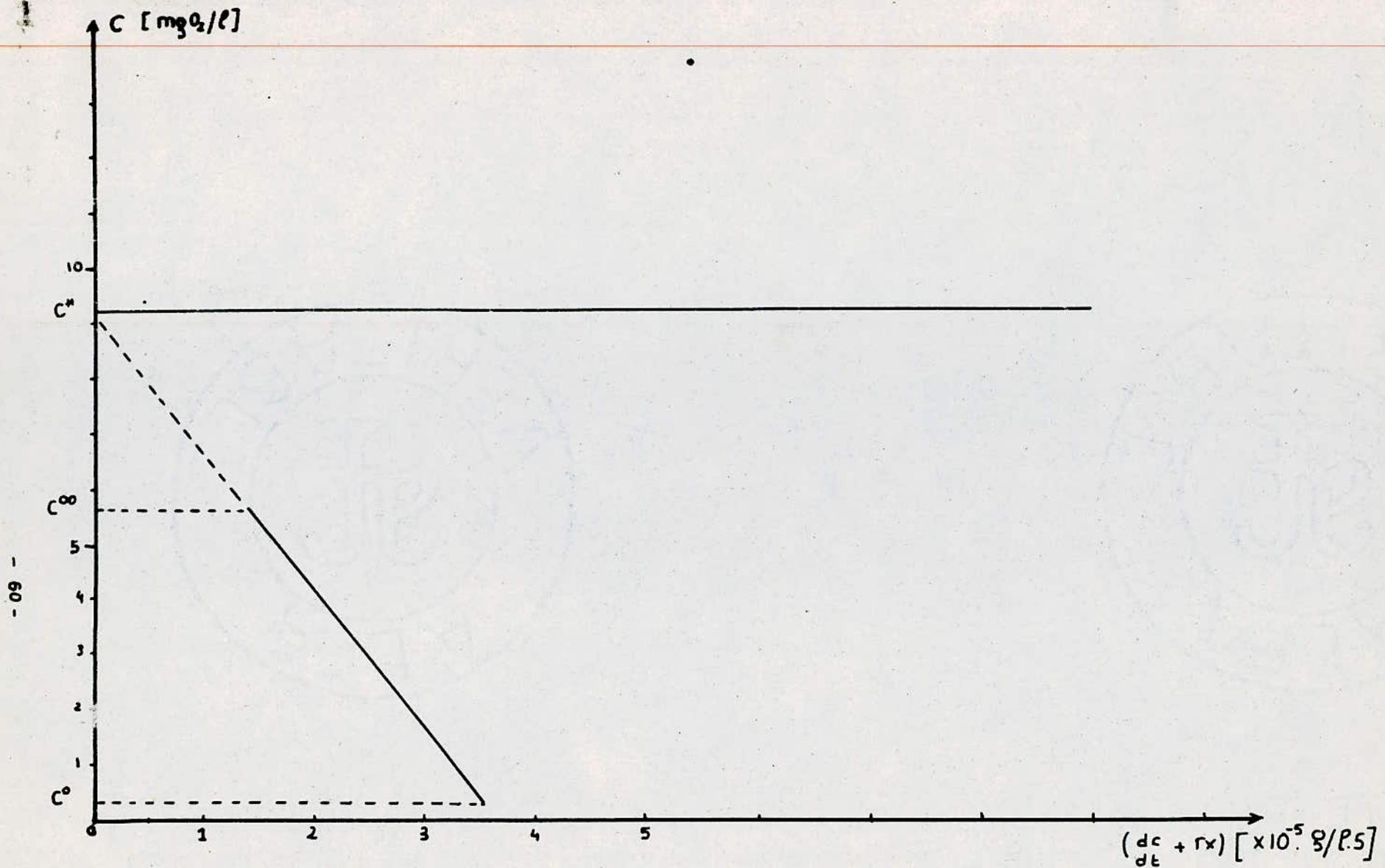
l'épuisement des éléments nutritifs conduit à l'arrêt de la croissance des micro-organismes.

Cette période n'est pas visible dans la courbe du graphe N° 1. Par contre, elle est assez accentuée dans les courbes des graphes N° 2 et 3.

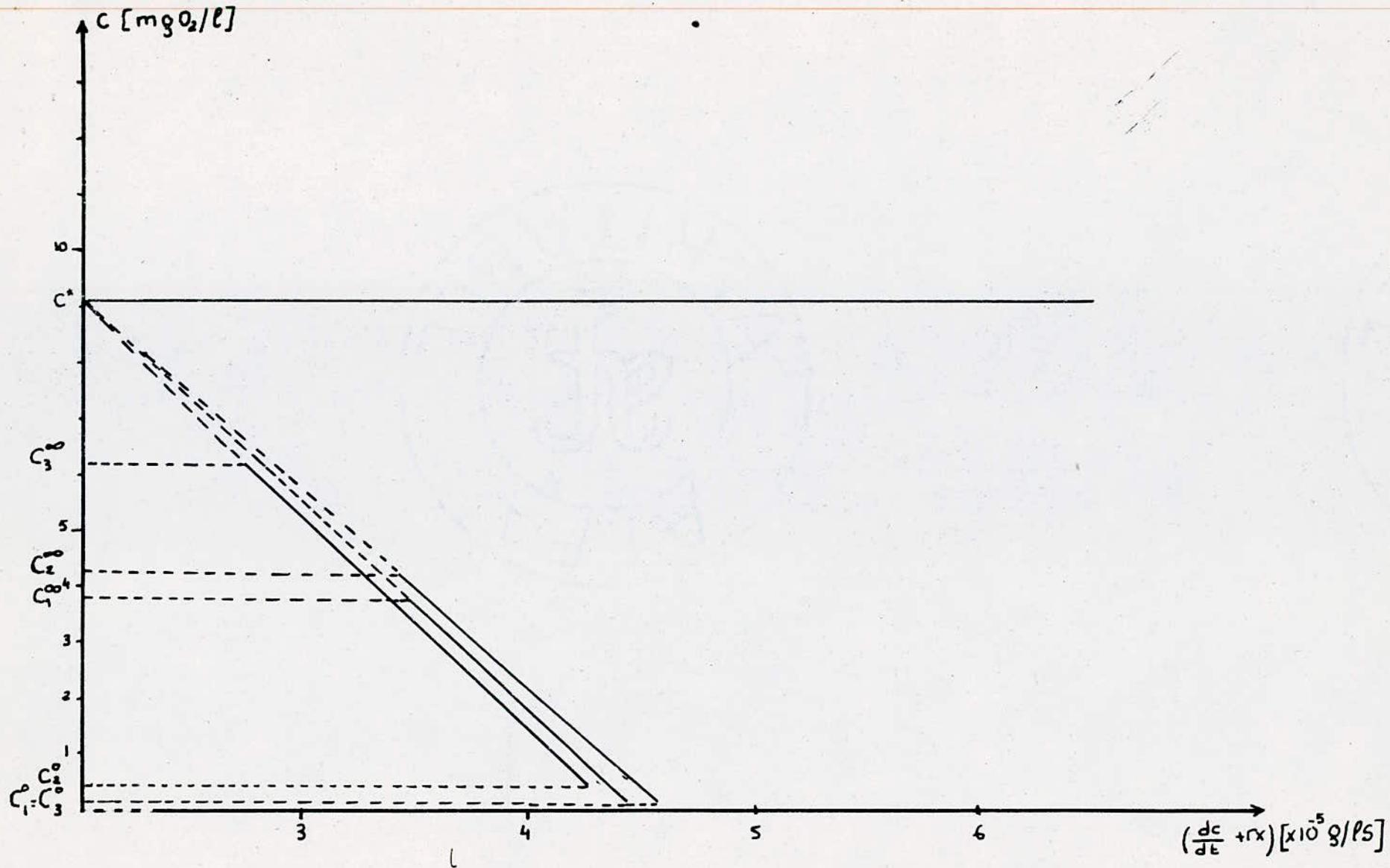
- Dans la courbe du graphe N° 2, elle varie de 0,988 g/l à 0,715 g/l.
- Dans la courbe du graphe N° 3, elle varie de 1,710 g/l à 1,542 g/l.

En résumé, la phase de croissance qui se distingue par un grand besoin en oxygène offre un grand intérêt pour notre essai.

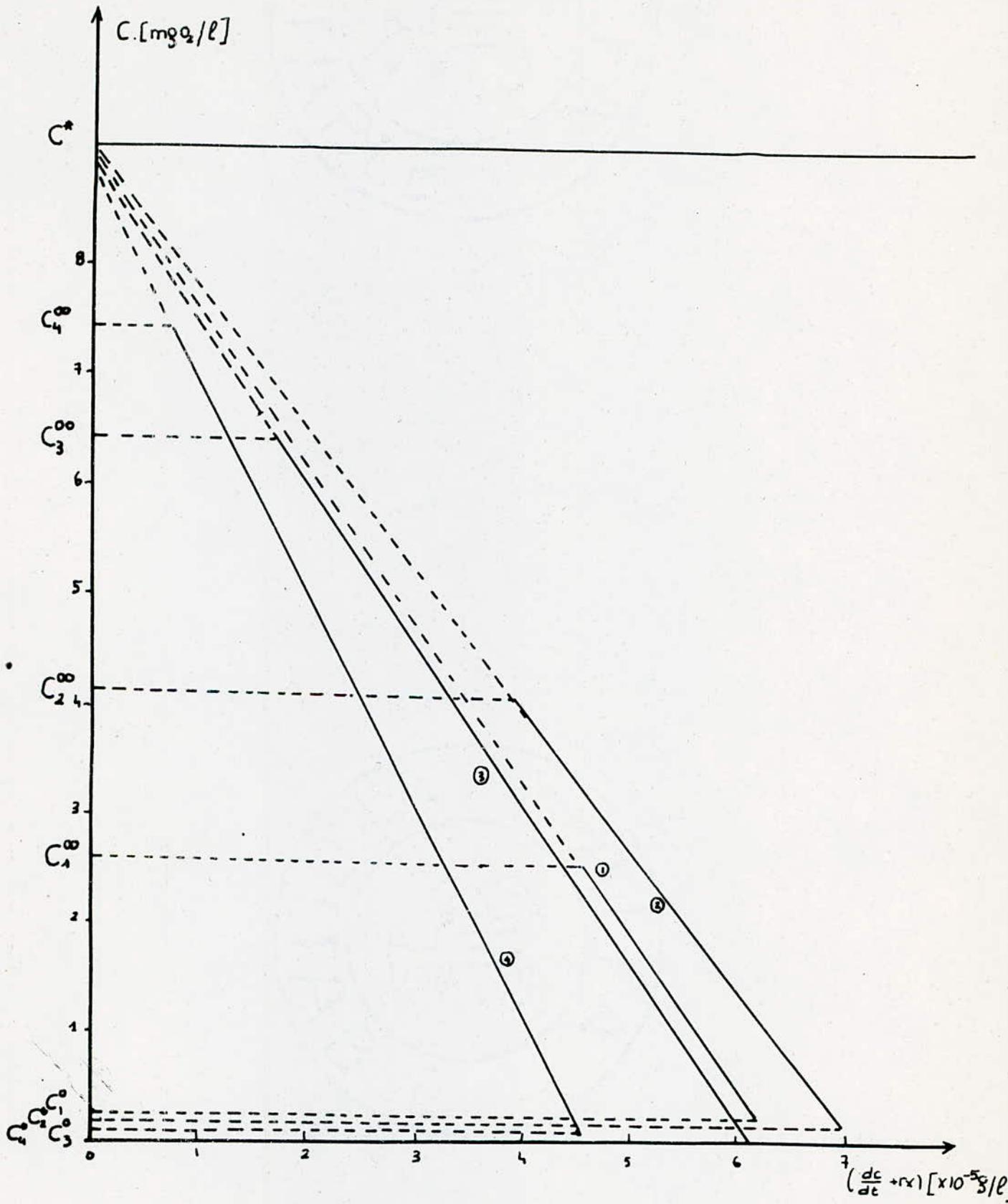
La multiplication des micro-organismes se caractérise donc par une vitesse de transfert de matière du milieu de culture vers la bactérie absolument important, ce qui est possible du fait du très grand rapport surface/volume des micro-organismes.



GRAPHE N°7: $C = f(\frac{dc}{dt} + rx)$ (Solution n°1)



GRAPHE N° 8 $c = F(\frac{dc}{dt} + rx)$ (Solution n° 2)



GRAPHE n°9: $C = f(\frac{dc}{dt} + rx)$ (solution n°3)

6.3.2 Variation de la concentration de saturation en oxygène (C*).

La courbe de la variation de saturation en oxygène diminue progressivement avec le temps pour nos 3 essais.

- Pour l'essai avec la solution N° 1 elle varie de 9,45 mg/l à 8,15 mg/l.
- Pour l'essai avec la solution N° 2 elle varie de 9,48 mg/l à 8,98 mg/l.
- Pour l'essai avec la solution N° 3 elle varie de 9,20 mg/l à 8,90 mg/l.

La valeur de saturation en oxygène dans l'eau est reliée à la pression partielle de l'oxygène dans la phase liquide par la loi de Henry [6].

$$C^* = HP$$

- C* : concentration de saturation en oxygène.
- H : constante de Henry.
- P : pression partielle d'oxygène.

L'accroissement en température, en altitude, et en constituants caractéristiques de l'eau usée provoque une diminution d'oxygène. [6]

Dans notre essai l'accroissement en altitude est exclu, ainsi que l'accroissement en constituants caractéristiques de l'eau usée qui n'y sont pas évaluées.

Par contre la température offre le principal facteur de la variation de C*.

La dégradation de la matière organique est une réaction exotherme qui s'accompagne d'une augmentation de température.

L'effet de la température sur une eau usée synthétique est indiquée au tableau N° 8.

6.3.3 Variation de la valeur de l'oxygène consommé.

La variation de la valeur de l'oxygène dissous est due:

- A la consommation correspondante à la réaction d'oxydation productrice d'énergie.
- A la consommation correspondante aux réactions de synthèse.

La courbe de la consommation d'oxygène présente d'une manière générale les phases (voir figure N° 10).

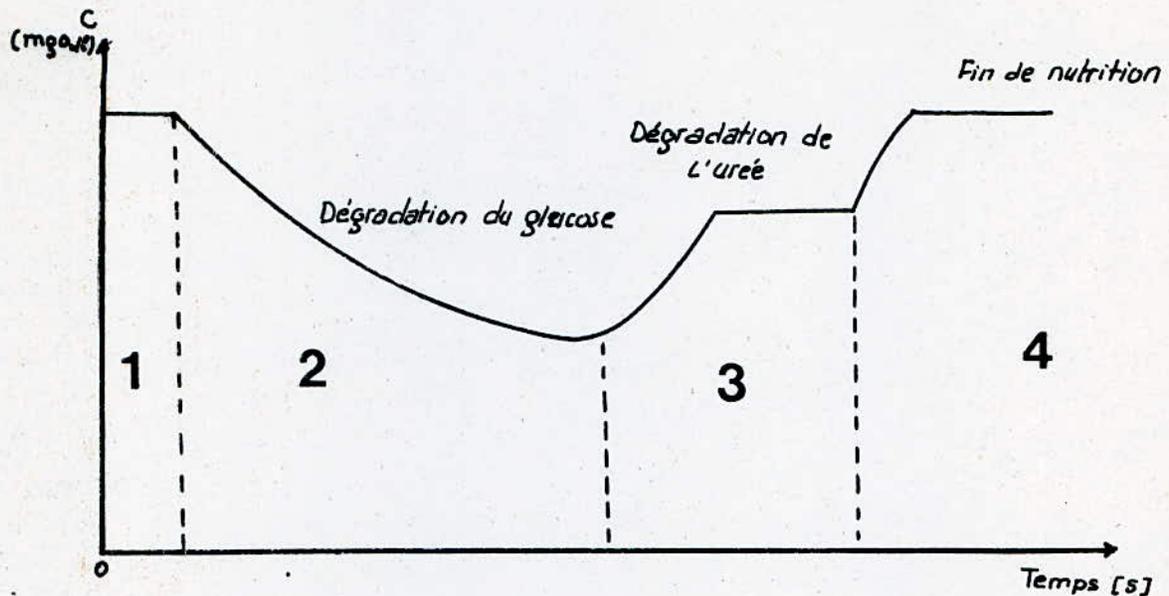


Figure N° 10.

Courbe théorique de la consommation d'oxygène.

Phase 1: C'est la période d'adaptation qui se caractérise par une respiration endotherme.

Phase 2: Cette étape se situe dans la phase de croissance de la masse bactérienne. Elle correspond à la dégradation du glucose qui se manifeste par une grande consommation d'oxygène.

Phase 3: Cette étape se situe à la fin de la phase de croissance des bactéries et se prolonge avec la phase de déclin. Cet intervalle se caractérise:

- Premièrement, par une diminution de la consommation d'oxygène. Cette diminution correspond à une phase d'adaptation des micro-organismes.
- Deuxièmement, une stabilisation de la consommation d'oxygène qui correspond à la dégradation d'un nouveau élément en l'occurrence l'urée.

Phase 4: Cette étape se traduit par une diminution de la consommation d'oxygène, et se prolonge jusqu'à un état stationnaire.

Cette phase, en général, correspond à l'épuisement du substrat.

6.3.4 Variation du pH.

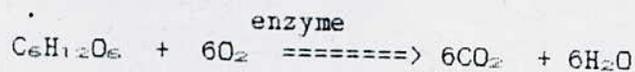
Comme le montre les courbes de notre essai, le développement des micro-organismes provoque une modification du pH, du fait de la décomposition de certains nutriments.

Dans notre cas, le pH qui a tendance à être neutre au début de l'expérience diminue pendant les phases I et II, qui correspondent à la dégradation du glucose.

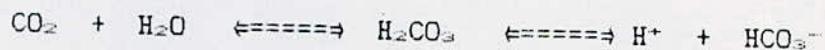
Dans la phase III (dégradation de l'urée) il varie en augmentant jusqu'à être neutre.

6.3.4.1 Influence du pH en fonction de la dégradation du glucose.

Le glucose est dégradé par les enzymes des bactéries suivant la réaction.



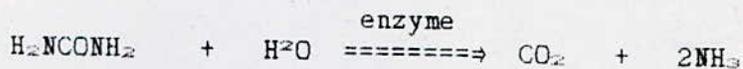
Le gaz carbonique réagit alors avec l'eau suivant la réaction.



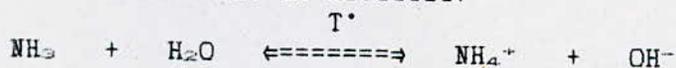
Des protons H^+ sont ainsi libérés et donnent le caractère acide à notre solution.

6.3.4.2 Influence du pH en fonction de la dégradation de l'urée.

L'urée livre aussi de l'énergie aux bactéries, sa dégradation se fait suivant la réaction:



L'ammoniac formé se dissocie:



Il y a libération des ions OH^- qui donnent le caractère basique, où dans notre cas établissent la neutralité, de notre solution.

6.3.5 Coefficient du transfert en oxygène K_{La} .

Les valeurs du K_{La} décrivent le processus de transfert de matière. Dans nos essais plusieurs valeurs ont été relevées.

Solution N° 1 $K_{La1} = 4,016 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Solution N° 2 $K_{La1} = 5,250 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$K_{La2} = 5,375 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$K_{La3} = 5,290 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Solution N° 3 $K_{La1} = 7,083 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$K_{La2} = 8,000 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$K_{La3} = 6,510 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

$K_{La4} = 5,250 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Arrêt	K_{La} [S ⁻¹]	C^* [mgO ₂ /l]	C^{∞} [mgO ₂ /l]	x [g/l]	r [S ₋₁]	rx [g/lS]
1°	4,016 $\times 10^{-3}$	9,221	5,550	1,489	0,990 $\times 10^{-5}$	1,474 $\times 10^{-5}$

Tableau N° 14.

Résumé des résultats de l'expérience réalisée avec la solution N° 1.

Arrêt	K_{La} [S ⁻¹] $\times 10^{-3}$	C^* [mgO ₂ /l]	C^{∞} [mgO ₂ /l]	x [g/l]	r [S ₋₁] $\times 10^{-5}$	rx [g/lS] $\times 10^{-5}$
1°	5,250	9,22	3,86	0,845	3,330	2,814
2°	5,375	9,18	4,22	0,962	2,771	2,666
3°	5,290	9,07	6,20	0,971	1,564	1,518

Tableau N° 15.

Résumé des résultats de l'expérience réalisée avec la solution N° 2.

Arrêt	K_{La} [S ⁻¹] $\times 10^{-3}$	C^* [mgO ₂ /l]	C^{∞} [mgO ₂ /l]	x [g/l]	r [S ₋₁] $\times 10^{-5}$	rx [g/lS] $\times 10^{-5}$
1°	7,083	9,21	2,60	1,16	4,931	5,720
2°	8,000	9,05	4,12	1,35	2,921	3,943
3°	6,916	8,98	6,40	1,63	1,095	1,785
4°	5,250	8,90	7,45	1,53	0,497	0,760

Tableau N° 16.

Résumé des résultats de l'expérience réalisée avec la solution N° 3.

Ainsi comme on peut le remarquer la valeur du K_L diminue avec l'augmentation de la masse microbienne. (voir graphe N° 1, 2 et 3).

Les agglomérations de cellules en flocc diminuent la turbulence. Cette dernière permet, un meilleur rapport -surface/volume- de la masse bactérienne, qui accentue notre coefficient de transfert.

En résumé le coefficient global de transfert de matière dépend du temps de contact, de la turbulence et de la surface spécifique bulle/substrat.

Il est aussi déterminé par la nature de l'équipement d'aération et par le degré de turbulence développé dans l'aérateur.

6.3.5.1 Coefficient de transfert K_L

Le coefficient de transfert est la racine carrée du produit du coefficient de diffusion moléculaire D et de la vitesse de renouvellement de la surface. [6].

$$K_L = \sqrt{V D_L r}$$

r : est fréquence moyenne à laquelle le film interfacial est remplacé par le liquide venant de la solution homogène.
 D_L : Coefficient de diffusion moléculaire.

6.3.5.2 Surface spécifique a

La surface limitante les deux phases, par unité de volume dépend de la taille des bulles et du coefficient relatif de retenue du gaz. [15]

$$\epsilon = \frac{V_G}{V_L + V_G} = \frac{h_r - h_l}{h_r}$$

V_G : volume du gaz.

V_L : volume du liquide.

h_r et h_l représentent respectivement la hauteur de la couche du mélange gaz-liquide et la hauteur du liquide seul à l'intérieur du bioréacteur.

Comme on remarque la quantité ϵ est facile à évaluer.

La surface spécifique des bulles dans le réacteur par m^3 s'écrit:

$$a = z \pi d_b^2$$

z : nombre de bulles par m^3

d_b : diamètre moyen des bulles.

Le volume de toutes les bulles réunies par m^3 constitue la retenue relative du gaz:

$$\epsilon = z \frac{1}{6} \pi d_b^3$$

Donc la surface spécifique peut se mettre sous la forme .

$$a = \frac{6\epsilon}{d_b}$$

En résumé, la surface spécifique dépend des facteurs opérationnels; tels que la vitesse de l'écoulement de l'air à travers le réacteur, et l'énergie nécessaire à la dispersion de l'oxygène dans le liquide. La surface spécifique dépend aussi des substances utilisées en l'occurrence la viscosité et la tension superficielle à l'interface.

6.3.6 La vitesse de réaction.

Le terme r_x exprime la consommation en oxygène des matières. Le terme r exprime, par contre la vitesse de réaction, dont on rappelle les valeurs pour une meilleure comparaison, dans le tableau N° 17.

Les valeurs de la réaction viennent confirmer la linearité qui existe entre le transfert global de matière, la masse bactérienne et la vitesse de réaction.

Le tranfert de matière est proportionnel à la vitesse de réaction, par contre la masse bactérienne, en augmentant, fait diminuer la vitesse de réaction.

Tableau N° 17.

Résumé des résultats expérimentaux.

N° de solution	Arrêt	vitesse de réaction (x 10 ⁻⁵ s ⁻¹)	transfert global de matière (x 10 ⁻³ s ⁻¹)	masse bactérienne (g/l)
1	1°	0,990	4,016	1,489
	1°	3,330	5,250	0,845
2	2°	2,771	5,375	0,962
	3°	1,564	5,290	0,971
	1°	0,931	7,083	1,160
3°	2°	2,291	8,000	1,350
	3°	1,095	6,510	1,630
	4°	0,497	5,250	1,530

6.4 Conclusion.

L'évaluation des paramètres:

- La concentration bactérienne
- Le pH
- La température
- La concentration en oxygène consommé
- La concentration de saturation en oxygène
- La tranfert global de matière
- La vitesse de réaction

est importante pour définir les performances des bio-réacteurs, dont le bon fonctionnement est basé sur certains critères.

Les différents conceptions de bioréacteurs, colonne à bulle ou réacteur à barbotage, dépendent surtout des exigences relatives à la surface spécifique. Généralement la surface spécifique varie entre 400 $\leq a/m^2/m^3 \leq 1000$ (d'après le Docteur Mahiout saïd).

On peut déduire que la surface spécifique dépend non seulement de l'énergie de dispersion mais aussi de la façon dont l'énergie est fournie au système.

L'énergie de dispersion influe généralement sur la surface spécifique suivant la réaction. [15]

$$a = \text{Const } E_d^m \epsilon^n$$

E_d : vitesse spécifique de dissipation de l'énergie.
 m : constante qui dépend de la forme du réacteur.

Pour une valeur théorique de $m = 0,4$, on obtient une turbulence identique en tous points du volume. [15]

Cette turbulence nous permettra d'avoir une grande surface de contact (oxygène/substrat/floc).

L'énergie nécessaire à la dispersion est obtenue par l'intermédiaire d'une buse d'injection. (voir figure N° 11). Cette énergie est fournie sous forme d'un travail de compression.

Les dimensions des bulles de gaz qui se forment dépendent du diamètre de l'orifice ainsi que de la vitesse d'écoulement de l'air.

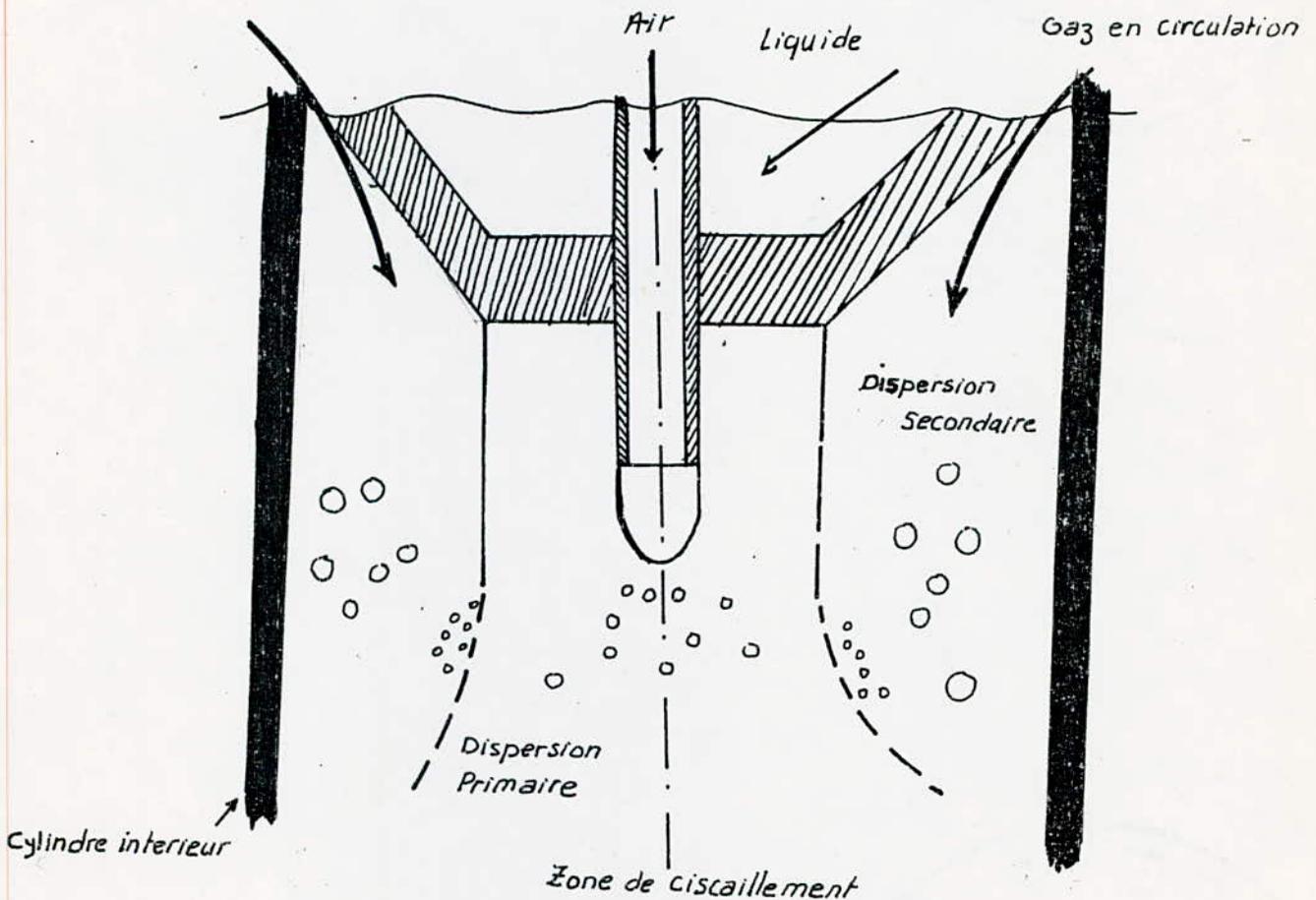


Figure N° 11.

Schéma d'une buse.

L'emplacement de la buse est aussi important; en effet dans le cas des tours hautes les bulles d'air se déplacent vers le haut et regroupent en bulles de taille plus grande et ceci diminue la valeur du coefficient global de transfert de matière.

Donc pour limiter ces contraintes, il est préférable que l'injection de l'air se fait du haut du réacteur, ce dernier sera par exemple axialement divisé.

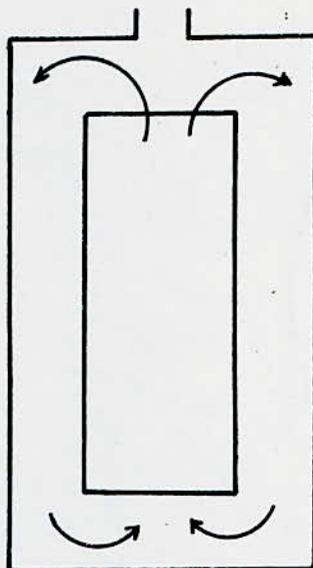


Figure N° 12.

Colonne avec tube central.

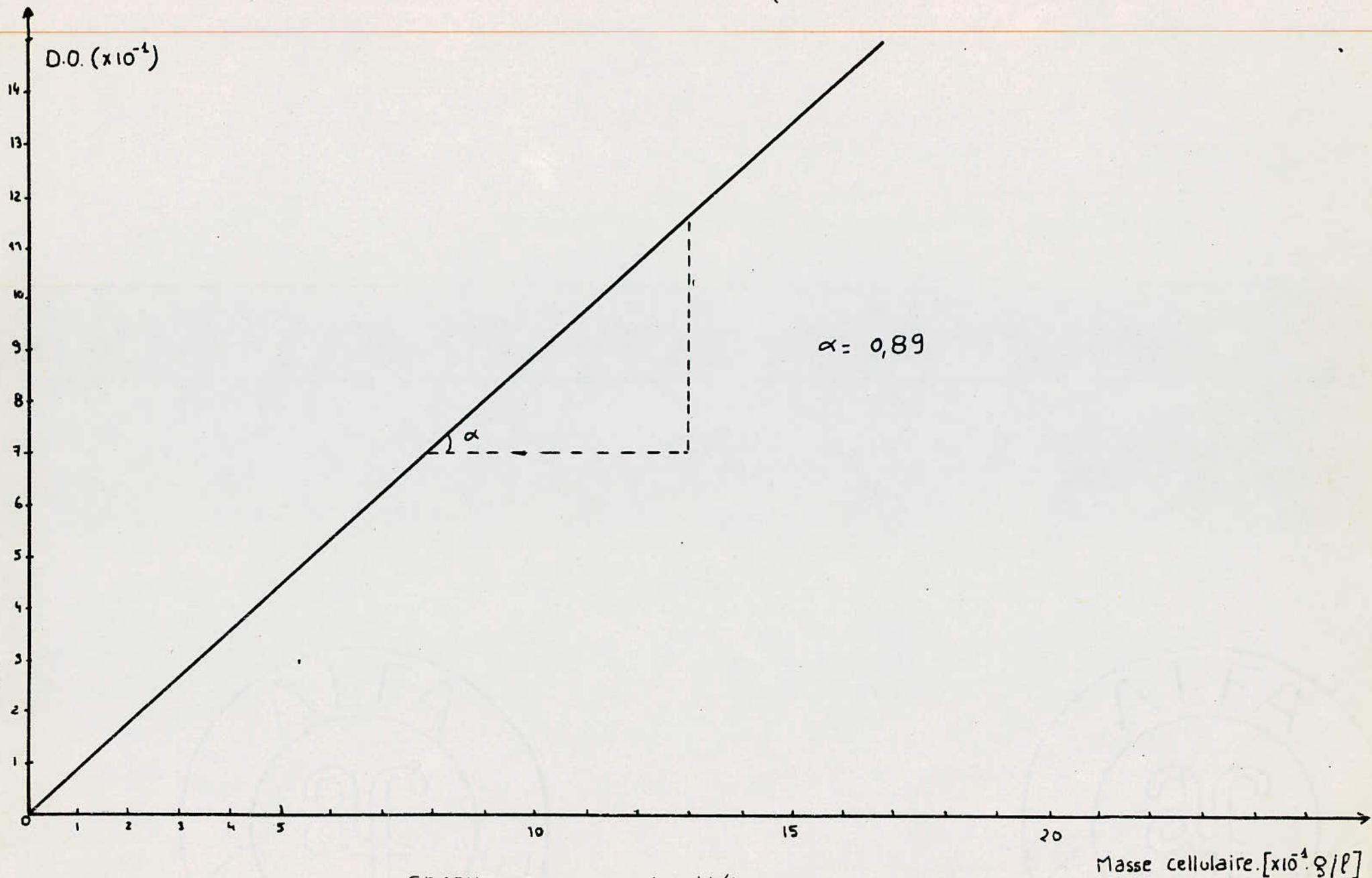
En se cognant contre les parois, les grandes bulles, se brisent. On peut ainsi augmenter la surface spécifique de 2 ou 3 fois par rapport à la superficie initiale.

Pour passer du dispositif expérimental du laboratoire, aux réacteurs plus grands à l'échelle industrielle on peut par exemple choisir une vitesse plus élevée pour l'injection de l'air, ou bien on peut compter sur une valeur inférieure de la surface spécifique ce qui implique un volume plus grand pour le réacteur. Les similitudes géométriques peuvent être respectées.

En résumé, le dimensionnement d'un bioréacteur dépend avant tout des facteurs suivants.

- Surface spécifique de contact entre les phases,
- transfert de matière de l'absorption d'oxygène dans l'eau,
- Exigence hydrodynamique imposée à la construction du réacteur.
- Energie nécessaire à la dispersion de l'air.

Dans le chapitre suivant nous étudierons un bioréacteur compact qui vérifie les critères cités.



GRAPHE N° 10. courbe d'étalonnage

$$DO = f(\text{masse cellulaire})$$

CONCLUSION GENERALE

7 LES REACTEURS MODERNES.

7.1 Généralités.

Vers la fin du siècle, avec l'industrialisation et la croissance démographique, les rejets ont augmentés de telle manière que le processus naturel d'épuration n'était plus en mesure d'éliminer cette pollution.

Alors la première génération des procédés biologiques de traitement des eaux, a fait son apparition sous forme de lits bactériens et de bassins d'aération.

Ces procédés sensiblement améliorés, forment la deuxième génération qui regroupent les procédés de boues activées et les procédés d'épuration par lagunage.

Ces procédés biologiques de traitement des eaux présentent certaines ambiguïtés, comme la construction ouverte, l'émission d'odeur et de polluants, et aussi une grande occupation en surface.

Pour contrer ces inconvénients une troisième génération des procédés de traitement, en l'occurrence les bioréacteurs, a été élaborée avec les caractéristiques suivantes. [12]

- petit volume de construction,
- besoin réduit en surface occupée,
- système de construction,
- grande flexibilité du fonctionnement
- utilisation optimale de l'oxygène introduit,
- couplage avec un décanteur à puissance correspondante,
- besoin en énergie minimale.

Ces bioréacteurs remplacent dans les installations conventionnelles pour le traitement d'eaux usées, les lits bactériens ou les bassins d'aération des boues activées. (voir fig N°12)

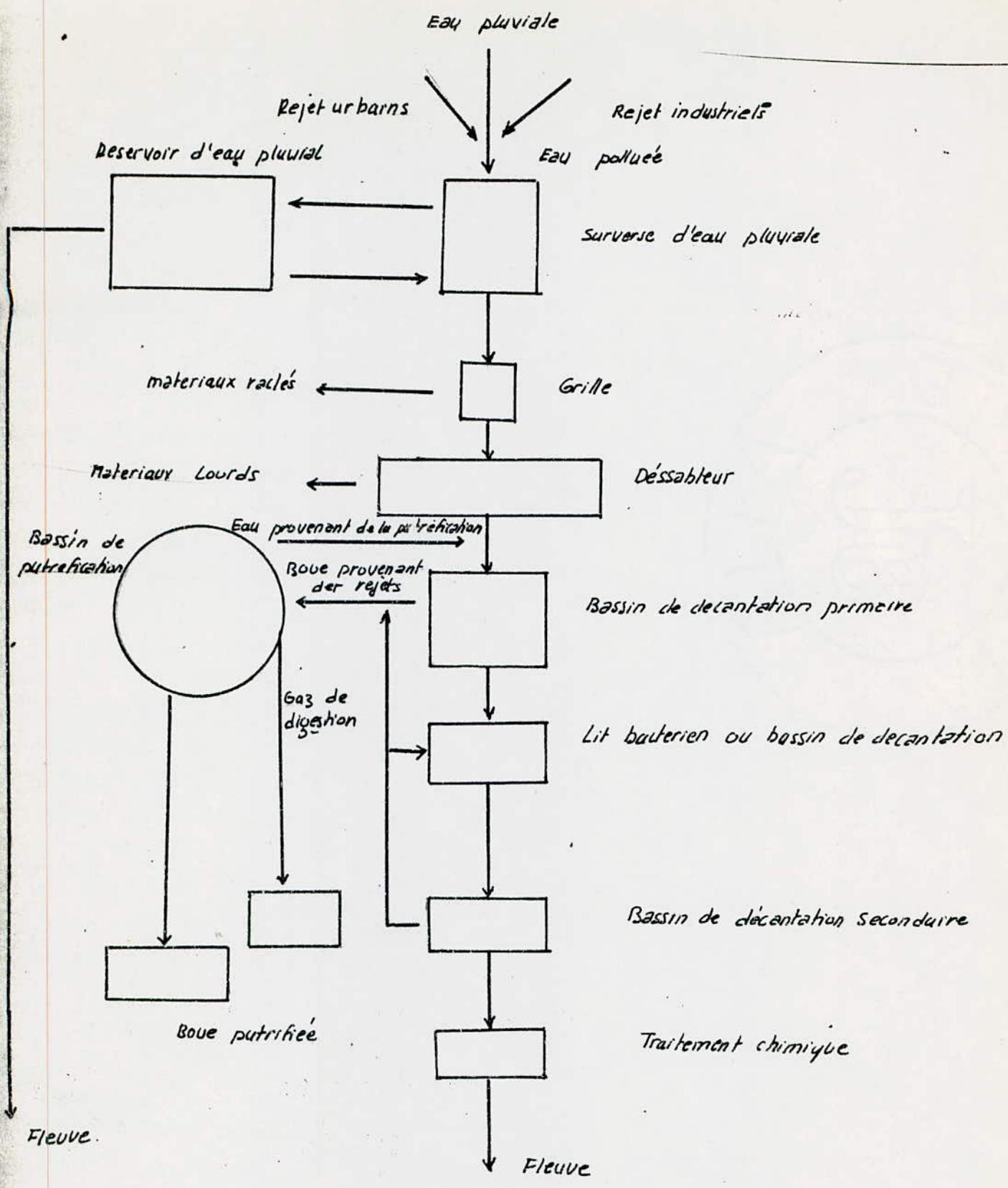


Figure N°12.

Installation d'épuration des eaux. [12]

Ces réacteurs se caractérisent par la forme de leur construction qui se présente sous forme de fosse ou de tour.

Parmi les bioréacteurs connus on peut citer: [12]

-ICI-Deepshaft (England, U.S.A) (fig N° 13)

-Bayer Turn-reactor-(R.F.A)

-HOEHT. Bio-Hoch. reactor (R.F.A) fig N°14)

-ECO III. Unité en Portage la prairie, Manibla (Canada)

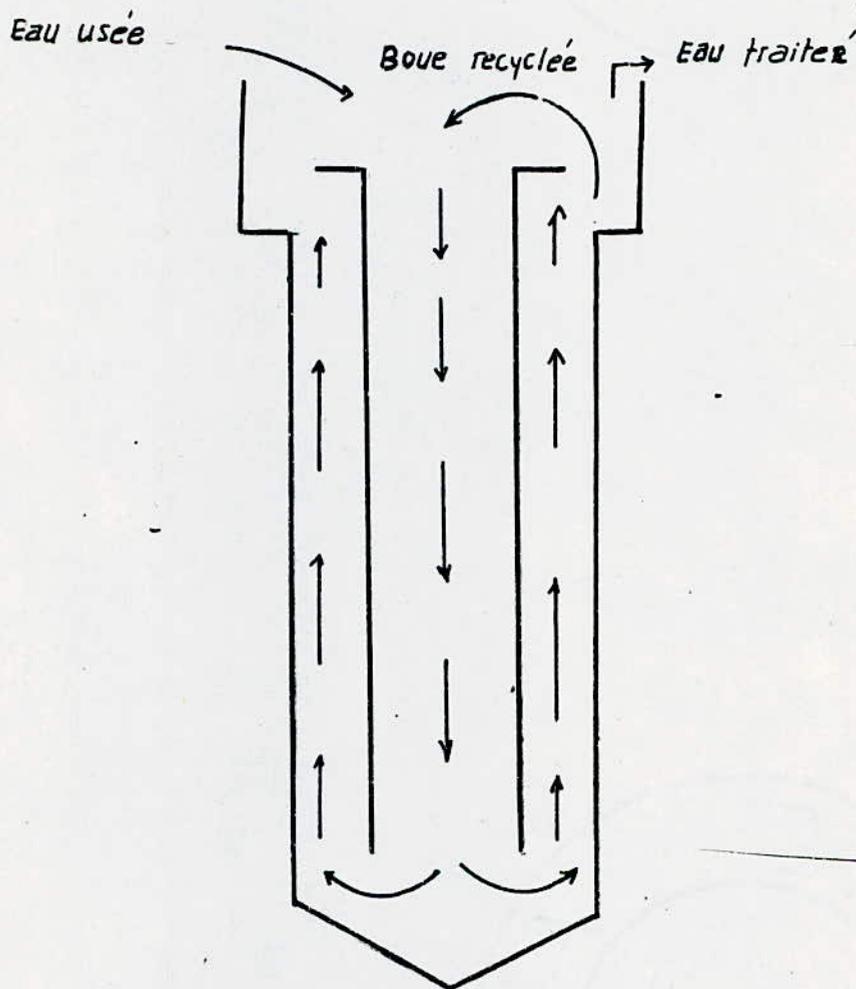


Figure N°13.

Ici-Dep shaft process.

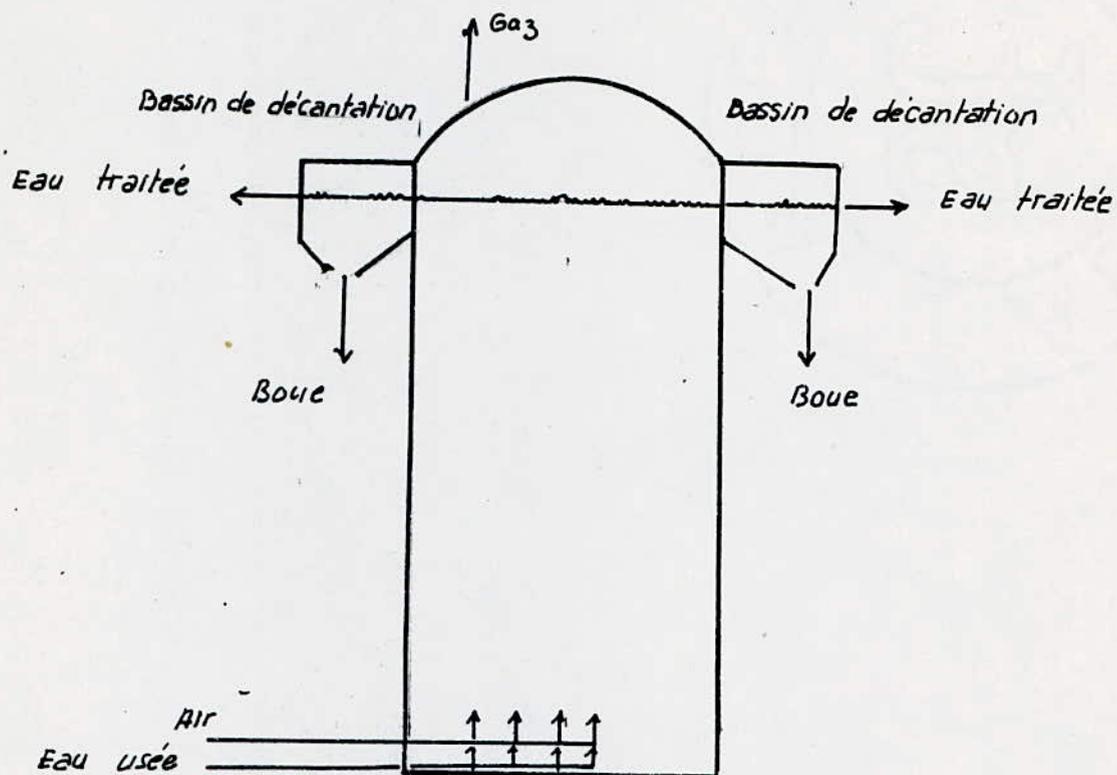


Figure N°14:

Turn biologie von Bayer.

Ces réacteurs se distinguent par certains avantages tels que le faible besoin en surface et l'exploitation maximale de l'air.

7.2 Réacteurs compacts.

L'étude des données scientifiques, du transfert de matière, de la surface spécifique et de la cinétique de la réaction, a permis le développement d'un procédé de haute performance, appelé le réacteur compact, dont le premier essai a été réalisé par l'institut des procédés de l'université technique de Clausthal (R.F.A.). (voir figure N°15). [12] [18] .

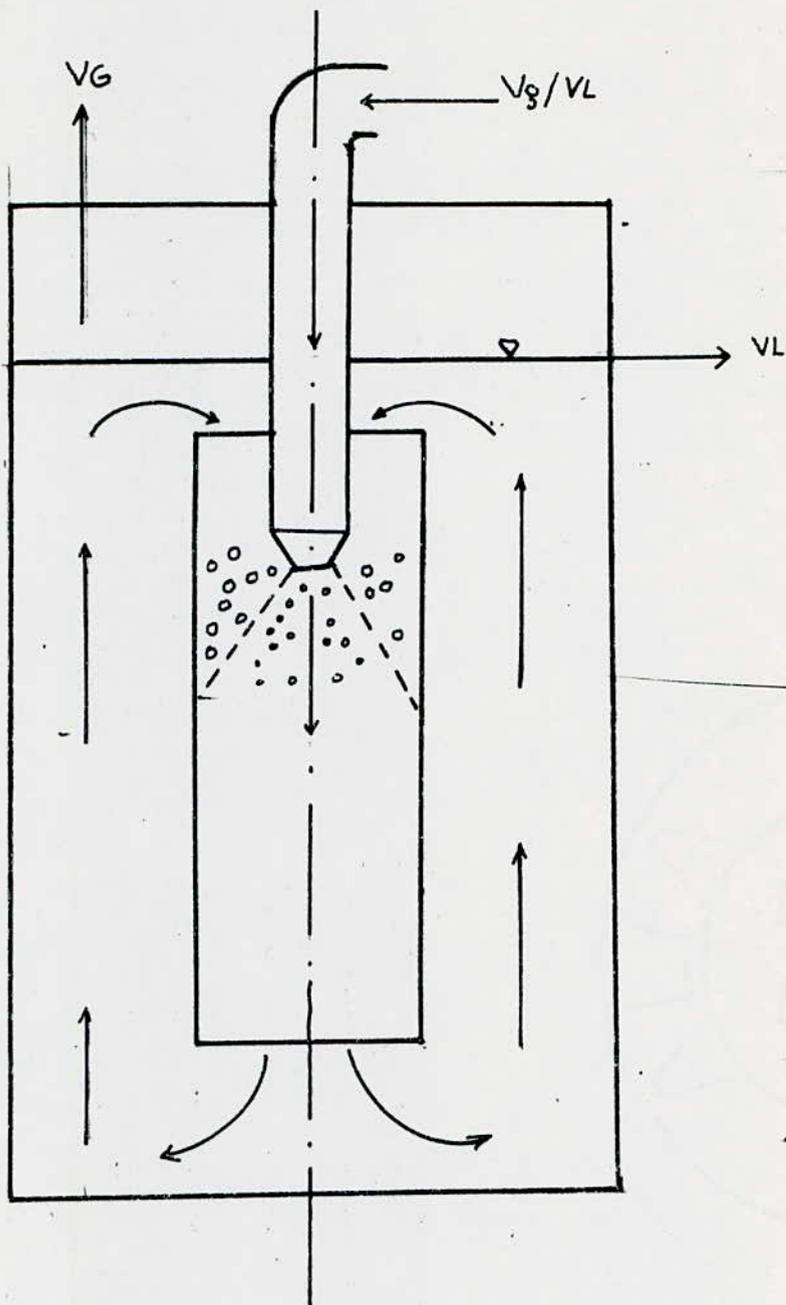


Figure N° 15.

Réacteur compact.

7.2.1 Dimension et fonctionnement d'un réacteur compact.

L'essai réalisé par l'institut des procédés de l'université de Clausthal a développé un réacteur compact de forme cylindrique avec rapport hauteur/diamètre $\approx 7/1$.

Ce prototype vérifie les critères de base des bioréacteurs cités à la suite de notre expérience.

A l'intérieur de ce dernier se trouve un cylindre secondaire pourvu de deux bases ouvertes, comme le montre la figure N°15.

Dans la base supérieure une buse biphasée déverse le gaz liquide. (voir figure 11; schéma d'une buse).

Le liquide V_L véhiculé à travers la buse engendre dans le cylindre intérieur une zone de cisaillement de haute turbulence, dans laquelle le débit d'air V_a aspiré, sera dispersé en petites bulles.

A ce stade on obtient une dispersion primaire et parallèlement les agglomérats se trouvant dans cette zone seront fragmentés en petits floccs. Ainsi est obtenue la surface de contact nécessaire pour un maximum de transfert de matière.

Ce mélange de bulle d'air, d'eau polluée et de floccs bactériens s'écoule dans le cylindre puis sera dirigé du fond du réacteur vers le haut en parcourant la zone limitant les deux cylindres coaxiaux.

En haut du cylindre intérieur, une partie du mélange est réaspirée par le jet crée par la buse de manière que les bulles d'air et les floccs bactériens sont disposés une seconde fois. Le reste du mélange est conduit vers l'extérieur, par contre l'air s'échappe dans l'atmosphère.

7.2.2 Traitement d'épuration suivant le réacteur compact.

L'eau polluée est introduite dans la conduite d'eau de recyclage pour être injectée dans le réacteur par la buse à 2 phases servant ainsi simultanément de force motrice par aspiration de l'air (voir figure N° 16).

L'eau traitée sort du réacteur pour être cheminée vers le bassin de décantation où a lieu la séparation biomasse - eau traitée dont une partie sera recyclée dans le réacteur et une partie de la boue du bassin de décantation sera acheminée vers le réacteur. Par contre la boue en excès sera retirée du circuit.

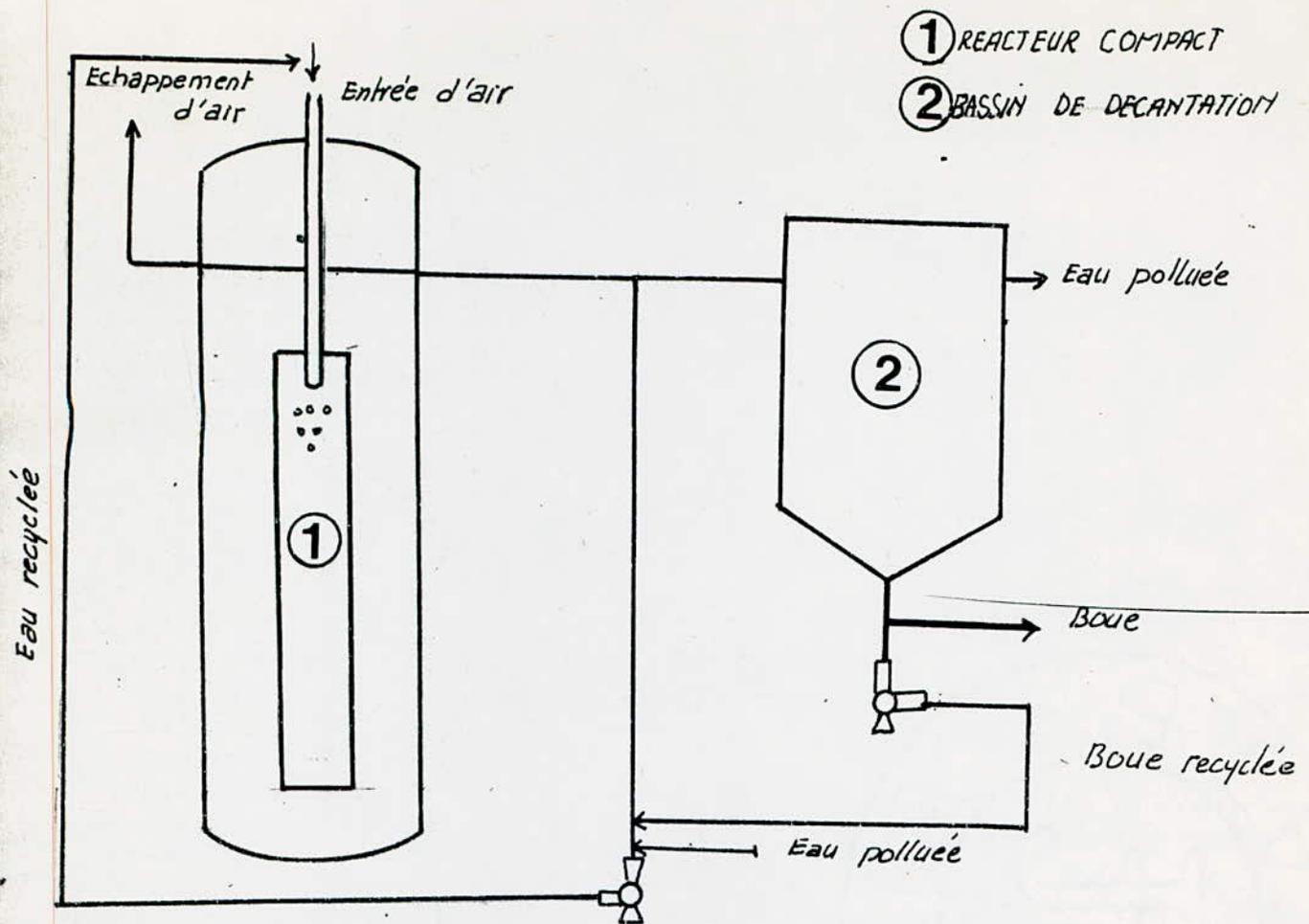


Figure N° 16.

Schéma de traitement d'épuration suivant le réacteur-compact.

7.3 Résumé

Le réacteur compact développé dans notre étude remplit les exigences relatives, aux réacteurs biologiques d'une manière générale, et les exigences, citées dans notre essai expérimental, d'une manière particulière.

Ces exigences sont les suivantes:

- Dispersion de l'air introduit en très fines bulles, dans le but d'améliorer le transfert d'oxygène de l'air vers l'eau.
- Intensifier le transfert d'oxygène dans le fluide avec une grande vitesse de transport d'oxygène dans le fluide et une courte durée de contact.
- Fragmentation des agglomérats de bactéries en petits floes, afin d'augmenter la surface de contact et aussi le transfert de matière entre le fluide et les bactéries.
- Possibilité d'homogénéiser les réactions oxygène-polluant-bactéries dans la totalité du volume réactionnel.

Le travail de l'ingénieur consiste à proposer un certain ensemble de données qui puissent fournir un procédé mieux performant que ceux existant déjà, et dont le prix de revient de la production est minimal.

Le réacteur proposé dans notre étude opte dans cette perspective, et donne des possibilités pour le traitement biologique des rejets urbains et industriels, sur le lieu même de leur sortie. Ceci permet alors d'intégrer une dépollution dans le processus de production.

BIBLIOGRAPHIE.

- (01) ROQUE H. "Fondements théoriques du traitement biologique des eaux". Tome I, [Tec et Doct]. Paris, 2^e édition, 1980.
- (02) WEIBEL S.R. "Urbain land runoff as a factor in stream pollution". Water pollution control fédération.
- (03) DEGREMENT "Momento-techniques de l'eau". [Dégrement]. Paris 8^e édition. 1978.
- (04) GAYD A. "Epuración biologique des eaux usées urbaines". Tome I et II. [O.P.U.]. Alger. 1984.
- (05) BROUZES P. "Précis d'épuración biologique par boues activées" [Tec et doct]. Paris. 1980.
- (06) ECKENFELDER "gestion des eaux usées urbaines et industrielles" W. W. [Tec et doct]. Paris. 1982.
- (07) TAYBI H. et "Epuración des eaux résiduaires du réseau inter- MADOU A. communal de B. I.". Thèse . E.N.P. . Juin 1984..
- (08) MEINCK "Les eaux résiduaires industrielles". STOOK [Masson]. Paris. 2^e édition . 1977.
- (09) DJILTI H. "Traitement des effluents de l'entreprise nationale d'ameublement et de transformation du bois". Thèse E.N.P.. Juin 1986.
- (10) EDELINE "L'épuración biologique des eaux résiduaires" [Tes et doct] . Paris. 1980.
- (11) BECHAL J. "Traitement des eaux usées". BOUTIN P. [EYROLLES]. Paris. 1984. MERCIER B. NUER P.
- (12) MAHIOUT S. "Utilisation des bioréacteurs pour le traitement des eaux usées". Conférence donnée au département du génie de l'environnement. E.N.P.. 1987.
- (13) MAHIOUT S. "Theoretische untersuchung des dispergiervorganges bei turbulenter und laminarer stromungsform". Université Clausthal. R.F.A. 1979.
- (14) MAHIOUT S. "Praktikum in bioverfahrenstechnik" . Université Clausthal. R.F.A. 1979.
- (15) HORAK J. "Conception des réacteurs chimiques industriels PASEK J. sur la base des données de laboratoire". [EYROLLES]. Paris. 1981.

