

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel



MP 18/08

Faculté des Sciences
Département du Biologie Moléculaire et Cellulaire

02
02

Mémoire

De Fin d'Etudes en Vue de l'Obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures
en Biologie (D.E.S)

Option : Microbiologie

Thème

Rôle des microorganismes dans la biodégradation des polluants industriels

Membre du jury :

- ❖ Examineur : D^r SIFOUR Mohamed
- ❖ Encadreur : M^{me} BEN HAMADA Wahiba

Présenté par :

- ❖ ZERMANI Wassila
- ❖ BOUMAALI Dounia
- ❖ BOUTEFIS rahima

Promotion Juin : 2008



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياتية
المكتبات
رقم التبريد : 1239



Faculté des Sciences
Département du Biologie Moléculaire et Cellulaire

Mémoire

De Fin d'Etudes en Vue de l'Obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures
en Biologie (D.E.S)

Option : Microbiologie

Thème

Rôle des microorganismes dans la biodégradation des polluants industriels

Membre du jury :

- ❖ Examineur : D' SIFOUR Mohamed
- ❖ Encadreur : M^{me} BEN HAMADA Wahiba

Nu-
H. Sifour
01/07/2008

Présenté par :

- ❖ ZERMANI Wassila
- ❖ BOUMAALI Dounia
- ❖ BOUTEFIS rahima

Promotion Juin : 2008

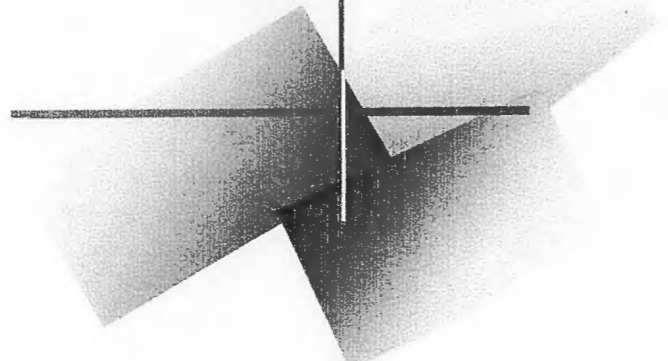


Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu qui nous adonnée le courage et la santé durant les années d'études.

- Nous remercions en première lieu notre encadreur : M^{me} BEN HAMADA Wahiba pour son aide et pour la confiance qu'elle a bien voulu mettre en nous, et également pour ces conseils tout au long ce modeste travail.
- Nous tenons a remercier également les membres du jury, pour avoir accepté de juger ce mémoire. Dr: Mohamed Sifour.
- Nous nous terminons pas sans avoir exprimer nos vifs remerciement à tout les enseignants qui ont contribués à notre formation.
- Enfin nous remercions tous les personnes qui nous ont aidé de prés ou de lion même par le simple mot d'encouragement.

Annexes



Liste des figures

Fig (1) : Les interactions entre les différents facteurs de la biodégradation.....	13
Fig (2) : Mécanisme de l'oxydation d'un n-alcane en alcool primaire par le système cytochrome P450.....	19
Fig (3): Schéma général des voies métaboliques de dégradation des n-alcane et des isoalcane.....	20
Fig (4) : dégradation par cooxydation des solvants organochlorés. Exemple de la méthane monooxygénase	21
Fig (5) : Les différentes voies métaboliques de la dégradation des hydrocarbures en fonction de l'accepteur d'électrons	23
Fig (6) : Dégradation du phénol par la voie métabolique réductrice proposée par Evans (1997).....	25
Fig (7) : La voie métabolique de dégradation du phénol par la souche <i>Thauera aromatica</i> (modifié d'après Lack Fuchs, 1994)	27
Fig (8) : Dégradation du phénol par <i>Clostridium hydroxybenzoicum</i> , par la souche GS-15 et par la culture de Li et al.....	28

Liste des abréviations

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

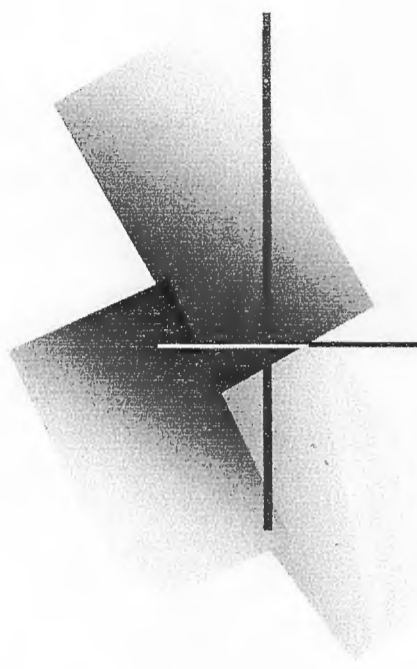
HC : Hydrocarbures.

MMO : Méthane monooxygénase.

PCB : Composés biphénylés polychlorés.

PPM : Parties par milliards.

TCE : Trichloréthylène.



Sommaire

Sommaire

Introduction	01
Chapitre1: Polluants industriels	
I.1. Généralités	02
I.2. Sources des polluants industriels	02
I. 2.1. Industries agroalimentaires	02
I. 2.2. Industries textiles	02
I.2.3. Industries papetières.....	03
I. 2.4. Raffineries- pétrochimie	03
I. 2.5. Industries des métaux	04
I. 3. Les différents types des polluants industriels	05
I. 3.1. Polluants organiques	05
I.3.1.1. Les hydrocarbures	05
I.3.1.1.1. Propriétés	05
I.3.1.1.2. Origine des hydrocarbures	05
I.3.1.1.3. Classification des hydrocarbures	05
I. 3.1.2. Les substances phénolées	06
I.3.1.2.1. Propriétés	06
I.3.1.2.2. Origine du phénol	06
I.3.1.2.3. Les différentes formes du phénol.....	07
I. 3.1.3. Les pesticides	07
I.3.1.3.1. Propriétés	07
I.3.1.3.2. Classification des pesticides	07
I.3.2. Polluants métalliques	09

I.3.2.1. Propriétés	09
I.3.2.2. Origines des polluants métalliques	09
I. 4. Contamination des eaux par les polluants industriels	10
I. 4.1. Contamination des eaux par les métaux lourds	10
I.4.2. Contamination des eaux par les hydrocarbures, composés du soufre et substances phénolées	10
I.5. Contamination des sols par les polluants industriels.....	10

Chapitre2: La biodégradation des polluants industriels

II.1 Définitions	12
II.1.1 La biodégradation	12
II.1.2. La bioremédiation (Dépollution biologique).....	12
II.2. Les facteurs physiques et chimiques affectant la biodégradation des polluants.....	13
II.2.1. Au niveau de la molécule	13
II .2.2. Au niveau de l'environnement	13
II.2.3. Au niveau de la flore microbienne.....	13
II.3. Les microorganismes effectuant la biodégradation	14
II.4. Degrés de dégradation des différents polluants industriels par les microorganismes dans les eaux	15
II.4.1 Les substances organiques.....	15
II .4.1.1. Les Substances phénolées	15
II.4.1.2. Les Hydrocarbures.....	15
II.4.2. Substances minérales	16
II.5. Demande biochimique en oxygène (DBO)	16
II.5.1 Principe du test DBO	16
II .5.2. La DBO ₅	16

II.6. Processus d'oxydation des hydrocarbures.....	17
II.7. Biodégradation des hydrocarbures	18
II.7.1. La Biodégradation aérobie des hydrocarbures	18
II.7.1.1. Biodégradation des hydrocarbures saturés	18
II.7.1.1.1. Microorganismes de la biodégradation des hydrocarbures saturés.	18
II.7.1.1.2. Mécanismes de la biodégradation des hydrocarbures saturés	18
II.7.1.1.3. Voies de la biodégradation d'hydrocarbure saturé	19
II.7.1.2. La biodégradation des hydrocarbures chlorés (solvants chlorés)	20
II. 7.1.2.1. Mécanismes de la biodégradation des hydrocarbures Chlorés.....	20
II. 7.1.3. La biodégradation des hydrocarbures aromatiques	22
II.7.1. 3. 1. Mécanisme de la biodégradation	22
II.7.2. Biodégradation anaérobie des hydrocarbures	23
II.8. Biodégradation des substances phénolées	24
II.8.1. La biodégradation anaérobie des phénols	24
II.8.1.1. mécanisme de la biodégradation du phénol par la souche <i>Thauera Aromatica</i>	26
II.8.1.2. Mécanisme de la biodégradation du phénol par <i>Clostridium hydroxybenzoicum</i> , par la souche GS-15 et par la culture de Li et al.....	26
II.8.2. Biodégradation aérobie des substances phénolées	28
II.8.2.1. Mécanisme et microorganisme de biodégradation	28



Introduction

Introduction

Etant donné le nombre toujours croissant de substances organiques synthétiques fabriquées par les grandes industries chimiques du monde entier, l'environnement humain s'enrichit de plus en plus de polluants industriels synthétiques. Un certain nombre de ces polluants sont difficilement biodégradables et toxiques, ou peuvent être biodégradables en libérant lors de leur décomposition moléculaire d'autres substances toxiques (PRATI et al, 1972).

La détermination de la biodégradabilité des substances organiques devient donc une nécessité pour exercer le contrôle des matières polluantes du milieu humain. Il serait même justifié de recommander à chaque pays producteur de substances organiques synthétiques de soumettre ces substances, avant leur commercialisation, à un essai obligatoire de biodégradabilité (PACCAGNELLA et al, 1971).

Les traitements biologiques reposent sur la capacité des micro-organismes à utiliser certains « déchets » comme « substrats ». Il existe parmi les microorganismes et plus particulièrement parmi les bactéries une remarquable diversité génétique, qui bien exploitée conduit à « substrats » métabolisés dans un environnement physico-chimique donné (SCRIBAN, 1989).

Notre travail a pour objectif la détermination des principaux polluants industriels, et leur biodégradation en différents substances moins ou plus toxiques.

Parmi les polluants industriels dont la biodégradabilité a été étudié : les hydrocarbures et les matières phénolées.

Et pour ce faire ce mémoire est organisé en deux chapitres, le premier chapitre donne des généralités sur les différents polluants industriels, le deuxième est consacré à la présentation de la biodégradation des polluants industriels, notamment les hydrocarbures et les substances phénolées, enfin on a terminé par une conclusion



Chapitre 1

Polluants industries

I.1. Généralités :

Un polluant industriel est signifié toute substance d'origine strictement anthropique, l'homme introduit dans un biotope donné dont elle était absente ou encore dont il modifie et augmente la teneur (dans l'eau ou les sols selon le biotope), lorsqu'elle y est spontanément présente.

De même agit comme polluant toute modification d'un processus physique qui conduit à accroître les flux d'énergie ou les niveaux de radiation dans l'environnement, il faut souligner qu'un polluant n'est pas nécessairement toxique pour les êtres vivants même si la majorité des substances chimiques dispersées par l'homme dans l'environnement sont intrinsèquement biocides. A l'opposé, une substance toxique se rencontrant dans un biotope terrestre ou aquatique n'est pas nécessairement liée à une pollution (RAMADE, 2000).

I.2. Sources des polluants industriels:**I. 2.1. Industries agroalimentaires :**

Les caractéristiques communes à tous les eaux résiduaires de l'industrie agroalimentaire sont :

- Une pollution essentiellement biodégradable.
- Une tendance générale à l'acidification et à la fermentation rapides.
- Toutes ces eaux se traitent bien par voie biologique mais elles sont souvent carencées en azote et en phosphore comme c'est le cas de certaines industries laitières. Ce n'est évidemment pas le cas des industries de la viande.

Les industries de la pomme de terre ont des rejets riches en amidon et donc très fermentescibles, mais aussi en matières en suspension minérales (terre) provenant du lavage des tubercules. C'est le cas des rejets de sucreries de betteraves riches en sucres et en terre (GROSCLAUDE, 1999).

I. 2.2. Industries textiles :

Selon les textiles traités, on retrouve des matières organiques (laine, coton) des colorants, des produits de mercerisage et souvent des fibres textiles de petites dimensions qui produisent des feutrages ou des bourrages dans les exutoires (GAUJOURS, 1993).

I. 2.3. Industries papetières :

La fabrication de la pâte à papier repose sur plusieurs procédés qui produisent des effluents riches en matières organiques difficilement biodégradables (lignine), en fibres et débris végétaux, en composés réducteurs (sulfures, sulfites). La fabrication de papiers des cartons et moins polluante, sauf pour les papiers recyclés outre les fibres de petites tailles, on retrouve dans les effluents des charges minérales (Kaolin, Carbonate de calcium, Oxyde de titane), des charges organiques (Amidon, Latex) Utilisées pour le couchages des papiers des colorants (GROSCLAUDE, 1999).

I. 2.4. Raffineries- pétrochimie :

Outre des traces d'hydrocarbures, on retrouve dans les effluents des matières organiques plus ou moins biodégradables (Phénols, produits benzéniques) et dans certains sont chlorées (SCRIBAN, 1993).

Ces produits sont généralement toxiques, mais leur présence et leur teneur dépendent des fabrications. A ces matières organiques, s'ajoutent des produits alcalins des catalyseurs métalliques, des savons, des détergents etc..., les industries traitant des dérivés du pétrole sont très variées et nombreuses et le risque écologique qu'elles créent doit être évalué au cas par cas (GROSCLAUDE, 1999).

Le tableau (1) indique les principaux polluants impliqués dans les eaux résiduaires de l'industrie du pétrole.

Tableau (1) : polluants de l'industrie du pétrole (BERNE et CORDONNIER, 1996).

Insolubles	Dissous
HC aliphatiques	HC aromatique
	Sulfures
	RSH
	Composés oxygénés
	Phénols
	Acides
	Aldéhydes
	Composés azotés
	NH ₄
	Amines
	Urée
Argiles	Sels, alcalinite
Sables	Na Cl
CaCO ₃	S ₂ O ₃ ⁻²
	F ⁻

I. 2.5. Industries des métaux :

La sidérurgie produit, pour certains effluents, de fortes quantités de matières en suspension qui sont pour leur quasi-totalité recyclables. D'autres ateliers produisent des effluents chargés en pollution dissoute organique ou minérale, c'est le cas du décapage, mais ce sont les industries de traitement des surfaces métalliques (galvanisation cadmiage et chromage...) qui génèrent des effluents très toxiques, en raison de la présence de métaux lourds (chrome, cadmium, zinc, cuivre) et de cyanures etc. Des règles sévères limitent le rejet de tels toxiques (GROSCLAUDE, 1999).



I. 3. Les différents types des polluants industriels :**I. 3.1. Polluants organiques :****I.3.1.1. Les hydrocarbures :****I.3.1.1.1. Propriétés :**

L'évolution des produits liquides et gazeux des hydrocarbures est observée comme depuis 1965 jusqu'à 1979 (THABET, 1989).

Ces composés ont pour propriétés d'être apolaires ou peut apolaires d'avoir une solubilité variable dans l'eau d'être plus ou moins réactifs (affines) vis-à-vis de l'acide sulfurique et donc d'être plus ou moins titrés en DCO. Leur biodégradabilité est aussi variable et encore mal connue (BERNE et CORDONNIER, 1996).

I.3.1.1.2. Origine des hydrocarbures :

Les hydrocarbures dans l'environnement peuvent avoir trois origines principales:

- ✓ Les rejets industriels et urbains, sources d'hydrocarbures pétrolières ou pyrolytiques.
- ✓ Les végétaux aquatiques (phytoplancton, macrophytes) et organismes hétérotrophiques (zooplancton, bactérioplancton).
- ✓ Les végétaux supérieurs terrestres via la matière organique détritique des sols, résultat du drainage des bassins versant. (HNATIUC, 2002).

Notons que la première origine est : anthropique, alors les deux dernières sont biogéniques, donc issues de la biosynthèse récente.

1.3.1.1.3. Classification des hydrocarbures :

On distingue trois catégories d'hydrocarbures:

a. hydrocarbures aliphatiques :

Les HC aliphatiques sont des molécules linéaires ou ramifiées en longues chaînes.

b. Les hydrocarbures aromatiques :

Les HC aromatiques (benzène et homologues supérieurs), qui sont constitués de cycles dont le squelette moléculaire renferme six carbones.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont fortement solubles dans les solvants organiques et apparaissent lipophiles (CERNEGLIA, 1992).

c. Les hydrocarbures hétérocycliques : dont les cycles renferment un nombre différent de carbone et peuvent être très complexe (RAMADE, 2000).

I. 3.1.2. Les substances phénolées :

I.3.1.2.1. Propriétés :

Les phénols et leurs dérivés homologues ou substitués sont des polluants industriels importants des cours d'eau, ces substances sont rejetées par les effluents résiduaires de nombreuses industries chimique : cokeries, distilleries de goudrons, usines de colorants, de matières plastiques, d'insecticides, d'explosifs...etc (EYROLLES et VILLARS, 1971).

En raffinage, les phénols peuvent être présents à des doses massives (BERNE et CORONNIER, 1996).

La toxicité de ces substances, et surtout des dérivés, pose des problèmes sérieux aux spécialistes de l'environnement, nombre d'entre eux se sont penchés sur la question du processus de métabolisation des produits phénoliques.

En ce qui concerne la toxicité des produits phénoliques, il est connu que les substances les plus toxiques sont : P-chlorophénol, le P-nitrophénol et le 2,4-dinitrophénol, tandis que le résorcinol et les dérivés (trirésu) trisubstitués sont très peu toxiques ; tenant compte du fait que les microorganismes sélectionnés peuvent résister à des doses considérables de phénol et de ses dérivés (EYROLLES et VILLARS, 1971).

I.3.1.2.2. Origine du phénol :

a. Source naturelles :

Le phénol peut être naturellement présent dans l'eau...en tant que produit de la décomposition des végétaux et animaux. Il est libéré dans l'environnement par ces sources naturelles, la plupart du temps en traces de substances phénoliques (GENIN et CHAUVIN, 2003).

b. Sources anthropiques :

Le phénol est fabriqué en tant qu'intermédiaire de la préparation d'autres produits chimiques et peut être libéré comme sous produit ou contaminant (NGÖ et REGENT, 2004).

I.3.1.2.3. Les différents formes du phénol:

a. Les phénols entraînés à la vapeur d'eau improprement : ce sont des substances volatiles qui sont constituées par les phénols monohydriques ou dihydriques. Ils peuvent être titrés selon la méthode Afnor NFT 90204 choisie par la législation Française relative aux raffineries (Extraction et colorimétrie à l' amino-antipyrine, en présence de ferricyanure de k).

b. Les phénols totaux : qui comprennent aussi des composés lourds non entraînés par la vapeur, ils peuvent être titrés par bromation lorsque les effluents sont assez concentrés et ont subi une filtration efficace qui élimine les huiles sources d'interférences (BERNE et CORDONNIER, 1996).

I. 3.1.3. Les pesticides :**I.3.1.3.1. Propriétés :**

Les pesticides sont des substances organiques utilisées par l'homme pour détruire des espèces végétales ou animales nuisibles. Il va de soi que si le pesticide élimine efficacement l'insecte ou la végétation nuisibles, il n'en demeure pas moins qu'une utilisation abusive peut conduire à une rupture de l'équilibre écologique, et engendrer des produits secondaires encore plus toxiques aussi bien sur l'homme, sur la flore et la faune (CALVET et al, 2005).

I.3.1.3.2. Classification des pesticides :

On peut classer les pesticides selon 3 critères :

a- Classification chimique :

Il existe trois catégories de pesticides :

1-Les pesticides inorganiques:

Ils sont peu nombreux mais certains sont utilisés en très grandes quantités comme le soufre et le cuivre. Ce sont aussi des pesticides très anciens dont l'emploi est apparu bien avant les débuts de la chimie organique de synthèse.

2-Les pesticides organo-métalliques:

Ce sont des fongicides dont la molécule est constituée par un complexe d'un métal tel que le zinc et le manganèse et d'un anion organique dithiocarbamate.

3-Les pesticides organiques: Ils sont très nombreux et appartiennent à diverses familles chimiques. On appelle famille chimique, ou classe chimique selon le Pesticide Manual (1995), l'ensemble des molécules dérivées d'un groupe d'atomes qui constituent une structure de base.

b- Classification biologique:

On distingue plusieurs catégories de pesticides dont les principales sont les insecticides-acaricides, les fongicides et les herbicides.

Classification selon l'usage:

Il existe deux catégories de pesticides classés leurs usages, c'est-à-dire, selon la destination des traitements:

1-Les cultures; ce sont les pesticides utilisés en agriculture pour maintenir un bon état sanitaire des sols et des végétaux.

2-Les bâtiments d'élevage; il s'agit surtout d'insecticides et de bactéricides (CALVET et al, 2005).

I.3.2. Polluants métalliques :

I.3.2.1. Les métaux lourds :

I.3.2.1.1. Propriétés :

Plusieurs substances métalliques ou bien les métaux lourds sont considérés comme des polluants (FISHBEIN, 1981).

Les métaux lourds : sont des métaux ayant une densité supérieure à 5g/cm³. Ils peuvent se trouver dans l'air, l'eau et sol (MOUVET, 1986). Il s'agit de la pollution métallique industrielle dont le rejet dans les eaux d'égout perturbe l'activité bactérienne en station de traitement, mais dont les concentrations résiduelles peuvent intervenir indirectement sur notre organisme, à travers la chaîne alimentaire (GAID, 1984).

Les métaux lourds présents dans les eaux résiduaires posent un grand problème pour la nature à cause de leur toxicité même à des teneurs faibles, ils ne sont pas dégradables de plus ils enrichissent au cours des processus minéraux et biologiques et finiront par s'accumuler dans la nature (RAMADE, 2000).

Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb, le nickel, le mercure et le chrome... (FISHBEIN, 1981).

I.3.2.1.2. Origines des polluants métalliques :

Les principales sources d'exposition humaine à ces composés via l'environnement sont celles d'origine anthropique (DEGREMONT, 2005).

Les industries responsables en grande partie, de ce type de pollution sont les ateliers dits de petite mécanique (anticorrosifs, antioxydants, sels métalliques); et les industries de surface (cyanure, cations métalliques lourds, chromates) (GAID, 1984).

I. 4. Contamination des eaux par les polluants industriels :**I. 4.1. Contamination des eaux par les métaux lourds :**

Les métaux lourds qui parviennent dans les eaux par exemple à partir d'unités de production font partie des polluants de l'eau (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

Le plomb d'origine industrielle vient lui aussi s'inclure dans cycle général de transfert des polluants dans l'eau.

Toutes les poussières chargées de plomb qui sont envoyées dans l'atmosphère sont rabattues par le vent. La pluie ou la simple pesanteur, sur les sols, les eaux de surface et les océans le ruissellement des précipitations sur les sols entraîne ce plomb sous forme particulaire ou sous forme dissoute vers les rivières et les océans.

Les industries utilisant des dérivés du plomb peuvent aussi polluer les eaux de surface et les nappes par le rejet de leurs eaux résiduaires (MORLOT, 1996).

La majorité du plomb dans les eaux résiduaires ne se présente pas sous forme soluble, mais en association avec des matières en suspension (ROUGEMAILLE, 1994).

I.4.2. Contamination des eaux par les HC, composé du soufre, et substances phénolées:

Toute fois à la progression de cette contamination s'est substituée celle des pollutions chimiques, en particulier des métaux toxiques et des composés organiques dits xénobiotiques, mésest à l'état de traces, mais de toxicité aigue ou/et chronique très élevée (RAMADE, 1993).

Cette pollution est certes le fait d'émissaires urbains et industriels mais aussi de sources de contamination diffuses dispersées sur de vastes territoires. Elle concerne non seulement les eaux superficielles mais de plus en plus les nappes phréatiques. (NGÖ et REGENT, 2004).

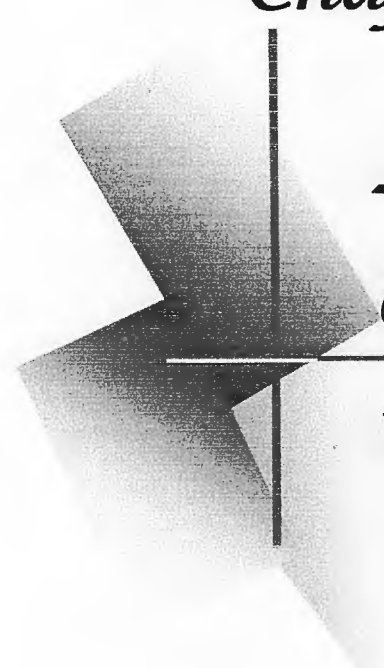
I.5. Contamination des sols par les polluants industriels :

Les sols sont le lieu de passage de nombreux flux de matières. A la différence de l'air et de l'eau, les sols ne sont pas des milieux homogènes. Les flux de matières y sont lents, si du moins ils ne sont pas favorisés par les eaux d'infiltration ou les nappes phréatiques mobiles. Le caractère ponctuel ou étendu d'une pollution dépendra donc d'abord des conditions d'épandages. Le plus souvent la contamination des sols vient de l'air par dépôt, ou des eaux de ruissellement (inondation...) (BLIEFERT et PERRAUD, 2001) (RAMADE, 1993).

Lorsqu'une pollution industrielle est localisée dans le temps et dans l'espace, elle peut être combattue et le sol remis en état.

Les sols pollués en France sont pour moitié contaminés par les hydrocarbures. Entre 10 et 20 % d'entre eux contiennent des métaux lourds (plomb, zinc, chrome...). Les sols pollués peuvent devenir dangereux pour l'homme à travers les poussières ou les Gaz formés, et à travers les eaux d'infiltration jusqu'à la nappe phréatique (NGÖ et REGENT, 2004).

Chapitre 2



*La biodégradation
des polluants
industriels*

II.1 Définitions:**II.1.1 La biodégradation:**

La biodégradation est un phénomène généralement lié à l'action de microorganismes des sols ou des eaux qui permettent la dégradation –en règle générale- la neutralisation d'agents polluants dans les milieux terrestre ou aquatique. Il s'agit toute fois d'un phénomène universel car tout être vivant possède –à des degrés divers- des systèmes métaboliques lui permettant de dégrader et neutraliser les substances toxiques. Il convient cependant de noter qu'en certains cas la biodégradation peut conduire -au moins dans une première phase- à la formation de composés intermédiaire de toxicité supérieure au polluant initial. Tel est le cas des phénomènes d'oxydation qui transforment un polluant organique en sa forme époxy toujours plus toxique (RAMADE, 2000).

La biodégradation est fonction de la nature et de propriétés de la molécule considérée, propriétés dont dépendent les interactions molécules/environnement (biodisponibilité et les interactions molécules/microorganismes (biodégradabilité) (SCREBAN, 1989).

II.1.2. La bioremédiation (Dépollution biologique):

Il existe une autre méthode appelée: la bioremédiation ou dépollution biologique (PELMONT, 2005).

La bioremédiation est définie par l'utilisation d'organismes vivants pour détruire les polluants environnementaux. Les applications des méthodologies de cette dépollution sont, par de nombreux aspects, des extensions de la technologie efficace de traitement des eaux usées d'égouts ou industrielles.

La bioremédiation a été appliquée au traitement de contaminations inhabituelles comme celle liée à des explosifs (comme le TNT), et même le traitement des composés radioactifs.

Elle est basée sur les principes généraux des traitements microbiens de dépollution des eaux usées. Mais elle est appliquée aux contaminants de manipulation particulièrement dangereuse produits radioactifs, métaux lourds, composés très toxiques (BOUSSEBOUA, 2005).

II.2. Les facteurs physiques et chimiques affectant la biodégradation des polluants :

Les facteurs affectant la biodégradation concernent la molécule, l'environnement, et la population microbienne.

II.2.1. Au niveau de la molécule: interviennent :

- Le poids moléculaire.
- La solubilité (très importante dans la biodégradation).
- Degrés de substitution (nature, nombre, position de substituant).
- Degrés de polymérisation.

La charge, l'encombrement stérique.

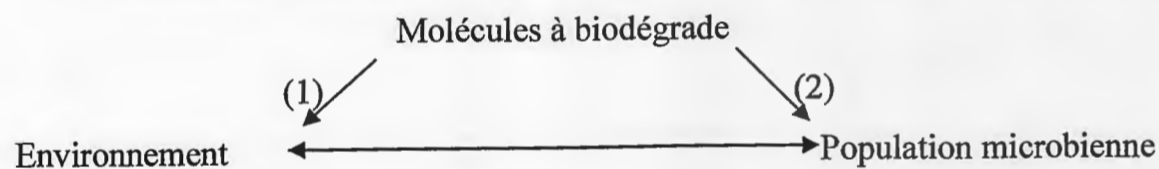
- L'équilibre solide/ liquide/vapeur (SCREBAN, 1993).

II.2.2. Au niveau de l'environnement: interviennent les facteurs suivants:

- Activité de l'eau.
- La force ionique et le potentiel redox.
- Présence d'interface liquide/solide, liquide/gaz.
- Les concentrations en substrats et co-substrats.
- Température, PH.

II.2.3. Au niveau de la flore microbienne:

- Présence ou non d'une flore adaptée à l'environnement
- Présence ou non d'une flore capable de dégrader les substrats considérés.
- Les causes de la persistance d'un composé sont donc nombreuses, elles concernent le substrat, l'environnement, les souches (SCRIBAN, 1989). (Fig.1) représente les interactions entre les différents facteurs de la biodégradation.



(1) L'interaction molécules/environnement: (biodisponibilité).

(2) L'interaction molécules/microorganismes: (biodégradabilité)

Fig. (1) : Les interactions entre les différents facteurs de la biodégradation (SCREBAN, 1989).

II.3. Les microorganismes effectuant la biodégradation :

L'évolution a permis l'émergence d'une grande variété de microorganismes présentant des capacités de biodégradation larges et flexibles. Ils peuvent survivre et détruire ou détoxifier des composés chimiques dans une grande variété de niches environnementales (chaleur, froid, pH bas, avec ou sans oxygène etc.). Les organismes les mieux adaptés pour la bioremédiation sont :

- Les espèces indigènes d'un habitat pollué particulier. Les microorganismes indigènes peuvent par définition survivre et se multiplier en présence de substances toxiques.
- Les mélanges de population sont également plus efficaces, dans de nombreux cas, que les cultures pures pour la biodégradation des hydrocarbures aromatiques chlorés.
- Bien que certaines souches microbiennes aient été sélectionnées pour leur capacité de bioremédiation, elles sont généralement moins stables et efficaces que les populations natives (JEROME et al, 2004).
- Les bactéries génétiquement modifiées puissent être utilisées dans les traitements par bioremédiation en cuves, elles ne peuvent pas être inoculées dans des environnements pollués pour dégrader les composés toxiques (BOUSSEBOUA, 2005).

*Les genres bactériens prédominants sont *PSEUDOMONAS*, *ACINETOBACTER*, *ALCALIGENE*, *VIBRO*, *FLAVOBACTERIUM*, *ACHROMOBACTER*, *MICROCOCCUS CORYNEBACTERIA*, ET *NOCARDIA* Ces organismes dégradant les hydrocarbures sont ubiquistes (PELMONT, 2004).

II.4. Degrés de dégradation des différents polluants industriels par les microorganismes dans les eaux:

Un certain nombre de ces polluants industriels sont difficilement biodégradables et toxiques, non biodégradables, ou peuvent être biodégradables (PRATI et al, 1972). Ils constituent par eux-mêmes ou par leur résidus des composés toxiques pour la biocénose aquatique (BOUSSEBOUA, 2005).

II.4.1 Les substances organiques:

La détermination de la biodégradabilité des substances organiques devient une nécessité pour exercer le contrôle des matières polluantes des milieux humains (PACCAGENELLA et al, 1971).

II.4.1.1. Les Substances phénoliques :

Les phénols et leurs dérivés homologues ou substitués sont des polluants importants d'eau; et comme certaines autres substances aromatiques, elles peuvent être également sujettes à une dégradation biologique, dans ces conditions spécifiques. A partir de divers milieux, et notamment d'une flore spécifique appartenant principalement à la famille des PSEUDOMONADACEES.

On sait de même que les dérivés nitrés du phénol et du crésol sont nettement plus difficiles à biodégrader que les autres produits phénoliques (ERYOLLES et VILLARRS, 1971).

II.4.1.2. Les Hydrocarbures:

La spécificité des substrats à l'attaque microbienne a été largement étudiée. Les hydrocarbures saturés, aromatiques, et les hydrocarbures chlorés, différents par leur susceptibilité à l'attaque microbienne. Ainsi la vitesse de biodégradation est plus élevée pour les saturés, viennent ensuite les aromatiques légers, les aromatiques à haut poids moléculaire, les composés polaires ayant la vitesse de dégradation la plus faible (RODIER, 1996) (NGÖ et REGENT, 2004).

II.4.2. Substances minérales:

Les métaux lourds présents dans les eaux posent un grand problème pour la nature à cause de leur toxicité même à des teneurs faibles, il ne sont pas dégradables de plus ils enrichissent au cours des processus minéraux et biologiques et finiront par s'accumuler dans la nature (MOUVET, 1986).

II.5. Demande biochimique en oxygène (DBO):

La matière organique biodégradable est décomposée en aérobie par les microorganismes. Cette oxydation nécessite un apport d'oxygène dissous proportionnel à la charge de matière organique métabolisée.

La quantité d'oxygène consommée par cette activité est la demande biochimique en oxygène (DBO). Elle est mesurée par un test de principe simple (BOUSSEBOUA, 2005).

Plus la DBO_5 est grande, plus l'eau est polluée (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

II.5.1 Principe du test DBO:

Il consiste à diluer l'échantillon de l'eau analysée dans de l'eau pure de concentration connue en oxygène dissous, puis à l'incuber à 20°C à l'abri de l'air et de la lumière pour laisser se décomposer la matière organique sous la seule action des microorganismes, les bactéries principalement.

La concentration de l'oxygène dissous est alors à nouveau mesurée et sa soustraction de la teneur initiale (à t_0) donne alors la DBO du milieu (BOUSSEBOUA, 2005).

II .5.2. La DBO_5 : « Pourquoi la demande biochimique en O_2 en 5 jours exactement? »

La demande biochimique en oxygène en cinq jours ou DBO_5 est la quantité d'oxygène exigée par les microorganismes pour la dégradation de la matière organique polluante dans des conditions de l'essai (incubation durant 5 jours à 20°C à l'abri de l'air et la lumière (RODIER, 1996).

Cette décomposition est progressive et prend des semaines et même des mois. Les glucides sont décomposés les premiers en une vingtaine de jours alors que dans une seconde phase les composés organiques azotés sont métabolisés en plusieurs mois. C'est pourquoi la DBO a été standardisée sur 5 jours (DBO_5). Ce délai est jugé à la fois significatif du processus global et raisonnable d'un point de vue pratique pour la

mesure. Cette dernière est exprimée en milligrammes d'oxygène consommé par litre d'eau (mg/l). Elle résulte de la différence constatée, dans un volume défini, entre la teneur résiduelle de l'oxygène à 5 jours et sa teneur avant incubation à t_0 , cette différence présente l'oxygène consommé pour la dégradation microbienne de la matière organique (NGÖ et REGENT, 2004).

La DBO constitue donc une mesure indirecte de la teneur en matière organique biodégradable des milieux aquatiques. Elle est d'autant plus élevée que la quantité d' O_2 utilisée par les bactéries et les autres microorganismes pour dégrader par oxydation la standardisation en DBO_5 permettent des mesures raisonnables. Dans les eaux usées domestiques, la DBO_5 varie en moyenne entre 200 et 300mg/l. Mais un rejet convenablement épuré doit avoir une DBO_5 réduite à 20-40mg/l, la teneur maximale en oxygène de l'eau. Etant d'environ 10mg/l (BOUSSEBOUA, 2005).

II.6. Processus d'oxydation des hydrocarbures:

L'étude de l'oxydation des hydrocarbures se base sur l'analyse des milieux de culture des microorganismes dont la croissance dépend de la nature de l'hydrocarbure utilisé comme source de carbone ainsi que des capacités métaboliques des cellules. Les produits détectés peuvent directement provenir du substrat, mais leur accumulation ultérieure peut être due au fait qu'ils sont faiblement métabolisés ou non (RODIER, 1981).

L'oxydation des hydrocarbures par les microorganismes indique que la croissance cellulaire dépend des processus de transport des hydrocarbures à la surface cellulaire et de passage à travers l'enveloppe cellulaire jusqu'au cytoplasme. Trois modes de transport des hydrocarbures sont généralement considérés :

- ✓ L'interaction des cellules avec les hydrocarbures dissous dans phase aqueuse par les facteurs de solubilisation extracellulaires.
- ✓ L'interaction des cellules avec les hydrocarbures émulsifiés par les agents actifs de surface appelés bio surfactant.
- ✓ Le contact direct des cellules avec les hydrocarbures (KUONY, 2005).

II.7. Biodégradation des hydrocarbures :**II.7.1. La biodégradation aérobie des hydrocarbures :**

La biodégradation des hydrocarbures est l'un des premiers mécanismes conduisant à la transformation de ces polluants en produits moins toxiques.

II.7.1.1. Biodégradation des hydrocarbures saturés :

L'étude de dégradation des n-alcanes, est beaucoup mieux connue que celle des autres classes d'HC saturés (SCRIBAN, 1989).

II.7.1.1.1. Microorganismes de la biodégradation des HC saturés :

Selon les longueurs de chaîne des alcanes, les bactéries prédominant sont :

- Les alcanes courts (C₅-C₁₀) sont dégradés par des bactéries appartenant aux genres : *MYCOBACTERIUM* ET *NOCARDIA*
- Les alcanes à chaîne moyenne (C₁₀-C₂₀) sont utilisés par des bactéries du genre: *PSEUDOMONAS* (*P.aeruginosa* et *P.putida*)
- Les alcanes à longue chaîne (C₁₀-C₂₀) sont utilisés par les bactéries du groupe: *CORYNEBACTERIUM*, *MYCOBACTERIUM* et *NOCARDIA*. Notamment au genre: *RHODOCOCCUS* (JEROME et al, 2004).

II.7.1.1.2. Mécanismes de la biodégradation des hydrocarbures saturés :

L'étape initiale de la dégradation des alcanes consiste en une hydroxylation en alcool (oxygénation).

Deux types de complexes enzymatiques ont été décrits (EYROLLES et VILLARS, 1971).

- ✓ Le système d'hydroxylation des eucaryotes (chez la levure *C.tropicalis*)
- ✓ Le système bactérien étudié chez *P.oleovarans* fait appel à une réductase flavoprotéique et à une protéine à fer non hémique (rubrédoxine) pour transférer à l'hydroxylase les deux électrons nécessaires, et chez *P.putida* les gènes d'hydroxylation forment un opéron localisé sur un plasmide (OCT) (WATKINSON et MORGAN, 1990).

L'hydroxylase est un cytochrome P-450 qui reçoit les électrons du NADPH par l'intermédiaire d'une réductase flavoprotéique (fig.2).

Des systèmes d'hydroxylation particuliers, utilisés dans la dégradation du Méthane (Méthane oxygénase) et du Propane (Propane monooxygénase), seront discutés à propos des solvants chlorés.

Après l'hydroxylation terminale de l'alcane suit une déshydrogénation impliquant souvent des enzymes NADp dépendant, en Aldéhyde et acide.

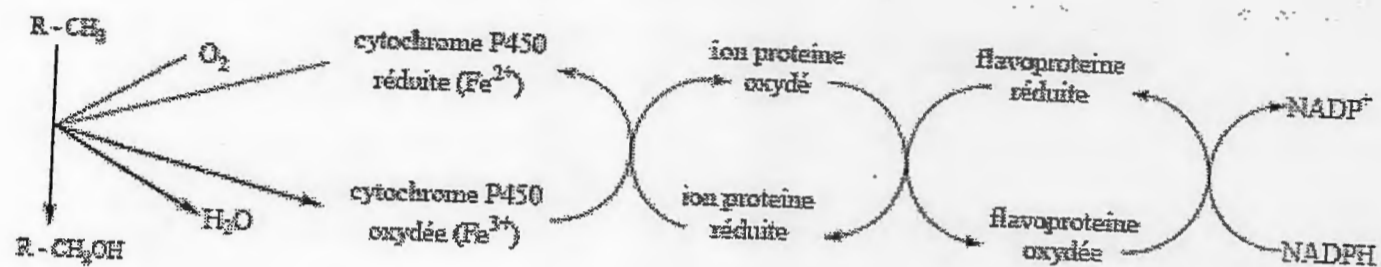


Fig (2) : Mécanisme de l'oxydation d'un n-alcane en alcool primaire par le système cytochrome P450 (KUONY, 2005).

II.7.1.1.3. Voies de dégradation:

La minéralisation du Méthane et son utilisation comme source de carbone font l'objet d'un métabolisme très spécifique (KUONY, 2005).

La figure (3) présente une synthèse des voies métaboliques impliquées dans la dégradation des alcanes et des isoalcanes.

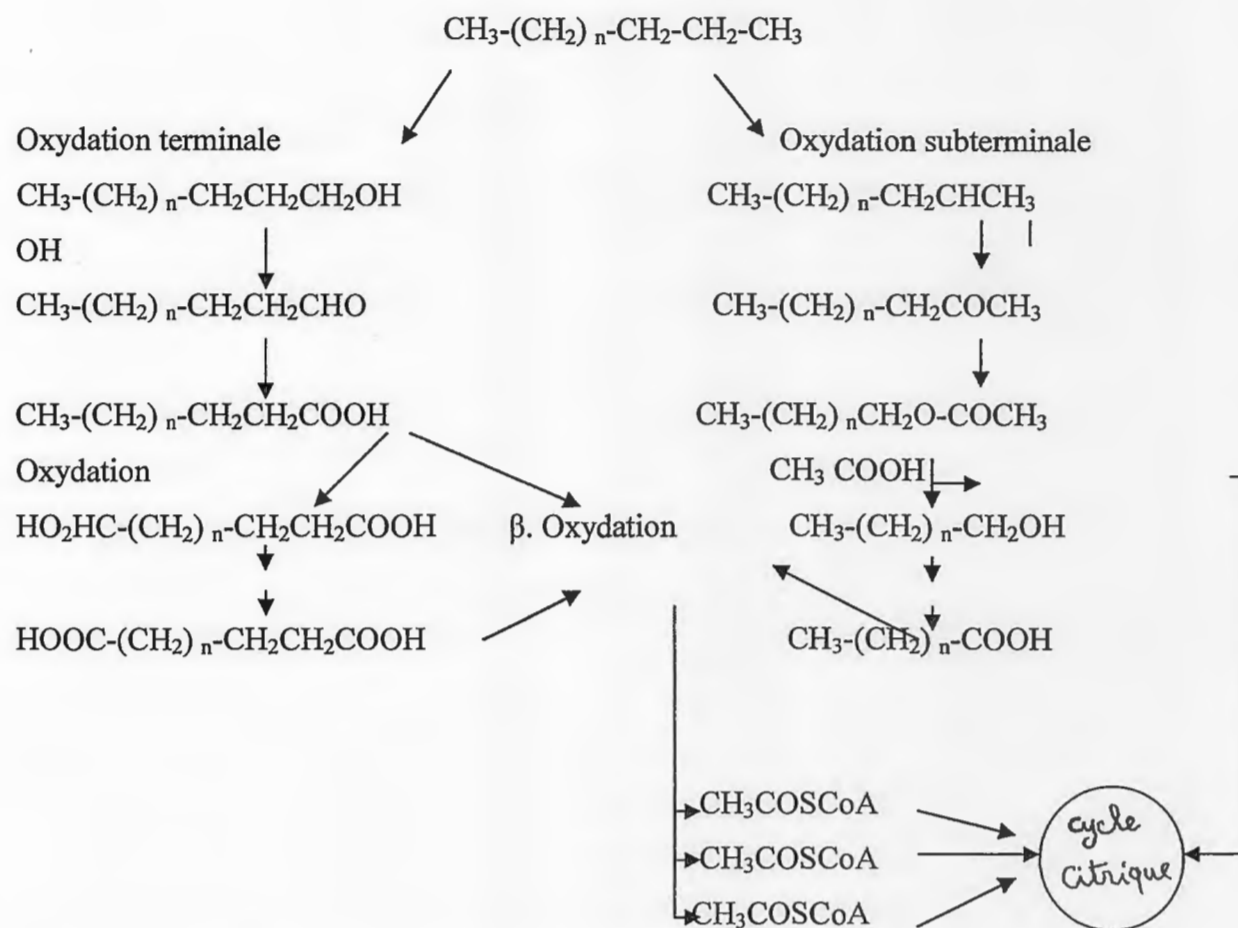


Figure (3): Schéma général des voies métaboliques de dégradation des n-alcanes et des isoalcanes (REHM et REIFF, 1981).

II.7.1.2. La biodégradation des hydrocarbures chlorés (solvants chlorés):

II. 7.1.2.1. Mécanismes de la biodégradation des hydrocarbures chlorés :

Un certain nombre d'alcènes et d'alcanes chlorés peuvent être utilisés comme sources de carbone et d'énergie. Ce sont en particulier des hydrocarbures monochlorés et certains hydrocarbures dichlorés. On peut citer notamment les chlorures du Méthyle (CH_3Cl), diéthyle ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$) et de vinyle ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$), le dichlorométhane (CH_2Cl_2), et le 1,2 - dichloroéthane ($\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$) (SCRIBAN, 1989).

La dégradation aérobie de plusieurs d'entre eux peut cependant s'effectuer par un autre mécanisme. En effet, plusieurs oxygénases dégradant les hydrocarbures sont capables de

les dégrader par cométabolisme. Il faut citer en particulier le méthane monooxygénase (MMO) des méthylotrophes stricts, le propane monooxygénase (PMO) de bactéries utilisant le propane pour leur croissance tels que *Mycobacterium vacca* JOB5 et des oxygénases impliquées dans la dégradation du toluène (monooxygénases de *P.cepacia* *P.mendocina* et dioxygénase de *P.putida*) (KUONY, 2005).

❖ Dégradation du Trichloréthylène (TCE):

Le TCE est un substrat compétitif du substrat physiologique le Méthane et la réaction d'oxygénation le convertit en TCE époxyde.

La présence du Méthane est nécessaire pour la croissance de la bactérie et l'induction de la MMO (Méthane monooxygénase), sa présence est plus indispensable que le TCE époxyde inactive la MMO, rendant impérative une synthèse soutenue du système enzymatique. En même temps le Méthane est un compétiteur du TCE.

Le TCE époxyde produit, instable, se décompose spontanément avec libération d'ions Cl^- , le monoxyde de carbone et le formiate représentent près de 90% des produits organiques formés.

Les plus étudiés la MMO (Méthane monooxygénase) et la PMO (Propane monooxygénase), dégradent tous deux le TCE concernant les autres solvants, leur spécificité est assez complémentaire, la MMO étant plus active les alcènes chlorés et la PMO avec les alcanes chlorés.

Le mécanisme de dégradation du TCE, solvant chloré type. Par cométabolisme est représenté dans la **figure (4)** (cas de MMO) (SCRIBAN, 1989).

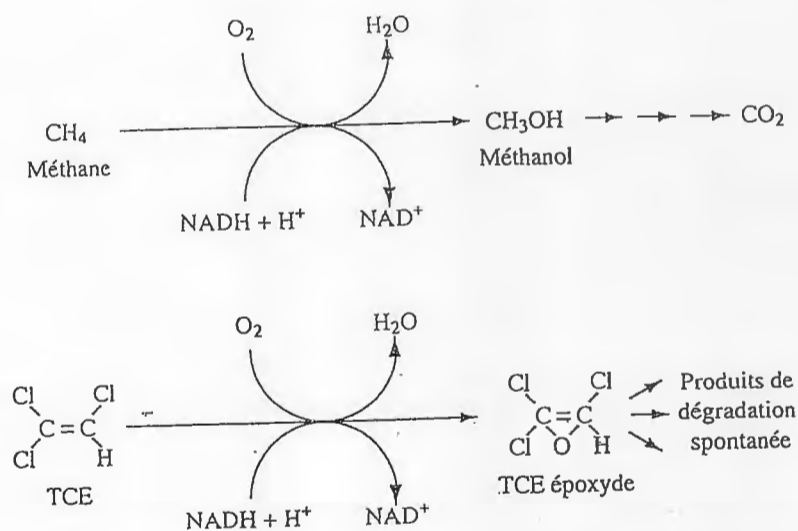


Fig (4): dégradation par cooxydation des solvants organochlorés. Exemple de la méthane monooxygénase (SCRIBAN, 1989).

II.7.1.3. La biodégradation des hydrocarbures aromatiques:**II.7.1.3.1. Mécanisme de la biodégradation :**

La dégradation des hydrocarbures aromatiques par les microorganismes est très importante pour l'élimination de ces composés des systèmes aquatiques et terrestres

Les étapes d'oxydation des hydrocarbures aromatiques sont les suivantes:

-Initialement les bactéries oxydent les hydrocarbures aromatiques par l'incorporation de deux atomes d'O₂ dans le substrat pour former des dihydrodiols de configuration Cis cette réaction est catalysée par une enzyme, la dioxygénase.

-L'oxydation de Cis-dihydrodiols pour former des catéchols (GIBSON, 1984).

-Une autre dioxygénase assure la rupture ortho (rupture entre les 2 groupements hydroxyle) en méta (rupture d'une liaison entre un carbone portant un groupement hydroxyle et le carbone voisin ne portant pas de groupement hydroxyle) du cycle (SCRIBAN, 1989).

❖ La biodégradation du benzène:

Pour les dérivés méthylés du benzène tel que le Toluène ou le Xylène l'oxydation dépend du l'acide benzoïque, ou sur le cycle aromatique pour former des Méthyl-catéchols, ou sur les deux à la fois (HOPPER, 1978 et CERNIGLIA, 1984); en ce qui concerne les Alkyl-benzènes qui sont des produits caractéristiques du pétrole. (WATKINSON et MORGAN, 1990).

Généralement, il se produit une oxydation du groupement Méthyle Terminal qui donne l'acide phényl-alcanoïque correspondant.

La dégradation peut s'arrêter à ce stade ou se poursuivre au niveau du cycle aromatique. Dans certains cas la co-oxydation par la population microbienne mixtes peut jouer un rôle très important dans la dégradation complète de ces composés (HOPPER., 1978, PAR AILLEURS RONTANI ET AL ., 1987) ont montré que la photo oxydation des alkyl benzènes permettait d'accélérer leur dégradation par les bactéries (SCRIBANE , 1989).

II.7.2. Biodégradation anaérobie des hydrocarbures :

De nombreux microorganismes ont développé des capacités métaboliques leur permettant d'utiliser les hydrocarbures comme donneurs d'électrons et comme sources de carbone pour la synthèse cellulaire.

La dégradation des hydrocarbures par les microorganismes dans des conditions aérobies est bien connue depuis plus d'un siècle, alors que l'utilisation de ces composés dans des conditions anoxiques (sédiments profonds et réservoirs de pétrole) n'a été étudiée que durant la dernière décennie. En effet, il a été largement admis que pour les bactéries dégradant les hydrocarbures en aérobiose, la présence d'oxygène moléculaire est indispensable pour l'activation enzymatique initiale des hydrocarbures (GIBSON, 1984).

Cette activation se traduit par l'introduction d'un ou plusieurs groupements hydroxyles dans la molécule apolaire. L'absence de l'oxygène moléculaire dans les environnements anoxiques nécessite un nouveau mode d'activation biochimique pour convertir les hydrocarbures apolaires en des composés comportant des groupements fonctionnels : la présence de groupements fonctionnels (hydroxyle, carbonyle ou carboxyle) dans des composés organiques est indispensable pour toute réaction d'oxydation ultérieure.

Différentes souches de bactéries anaérobies capables de dégrader les hydrocarbures ont été isolés de sites contaminés. Ces bactéries utilisent le nitrate, le fer (III) ou le sulfate comme accepteurs d'électrons (fig.5). Un mécanisme de dégradation par méthanogénèse peut avoir lieu dans des environnements où l'oxygène, le nitrate, le fer (III) et le sulfate sont totalement absents (KUONY, 2005).

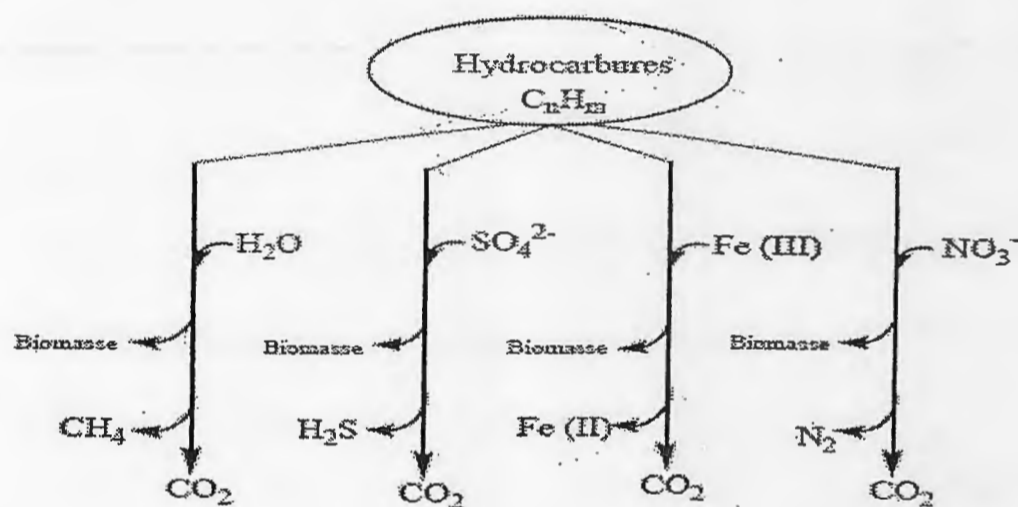


Fig (5) : Les différentes voies métaboliques de la dégradation des hydrocarbures en fonction de l'accepteur d'électrons (KUONY, 2005).

II.8. Biodégradation des substances phénolées :

La biodégradabilité des phénols faisait encore l'objet de doutes vers les années 1960, elle est on fait, bonne et maîtrisée dans les épurations biologiques aérobies. D'autre côté plusieurs groupes de recherche étudiant la biodégradation du phénol en conditions anaérobies (GAID, 1984).

II.8.1. Mécanisme de la biodégradation anaérobie des phénols :

En utilisant le nitrate comme accepteur terminal d'électrons, BAKKER (1977) a montré que le phénol était dégradé en acide *n-caproïque* par une culture mixte.

Bakker conclut que le cycle aromatique du phénol était réduit pour former le cyclohexanone, avant d'être dégradé en composés aliphatiques.

BALBA ET EVANS (1980) distinguent deux cas principaux :

*Quand le phénol marqué au C^{14} : le phénol a été métabolisé rapidement et les produits marqués suivants ont été détectés dans le milieu de culture : **le cyclohexanone, le 2-hydroxydo-hexanone, l'adipate, le succinate, le propionate et l'acétate**, confirmant une voie métabolique réductrice (**fig.6**) (GAUJOUS, 1993).

*Quand le phénol non marqué et le CO_2 marqué au C^{14} ont observé la formation du **benzoate radioactif**. Ce résultat indique que la dégradation du phénol passe probablement par la carboxylation du phénol (JOROSLAW, 2000).

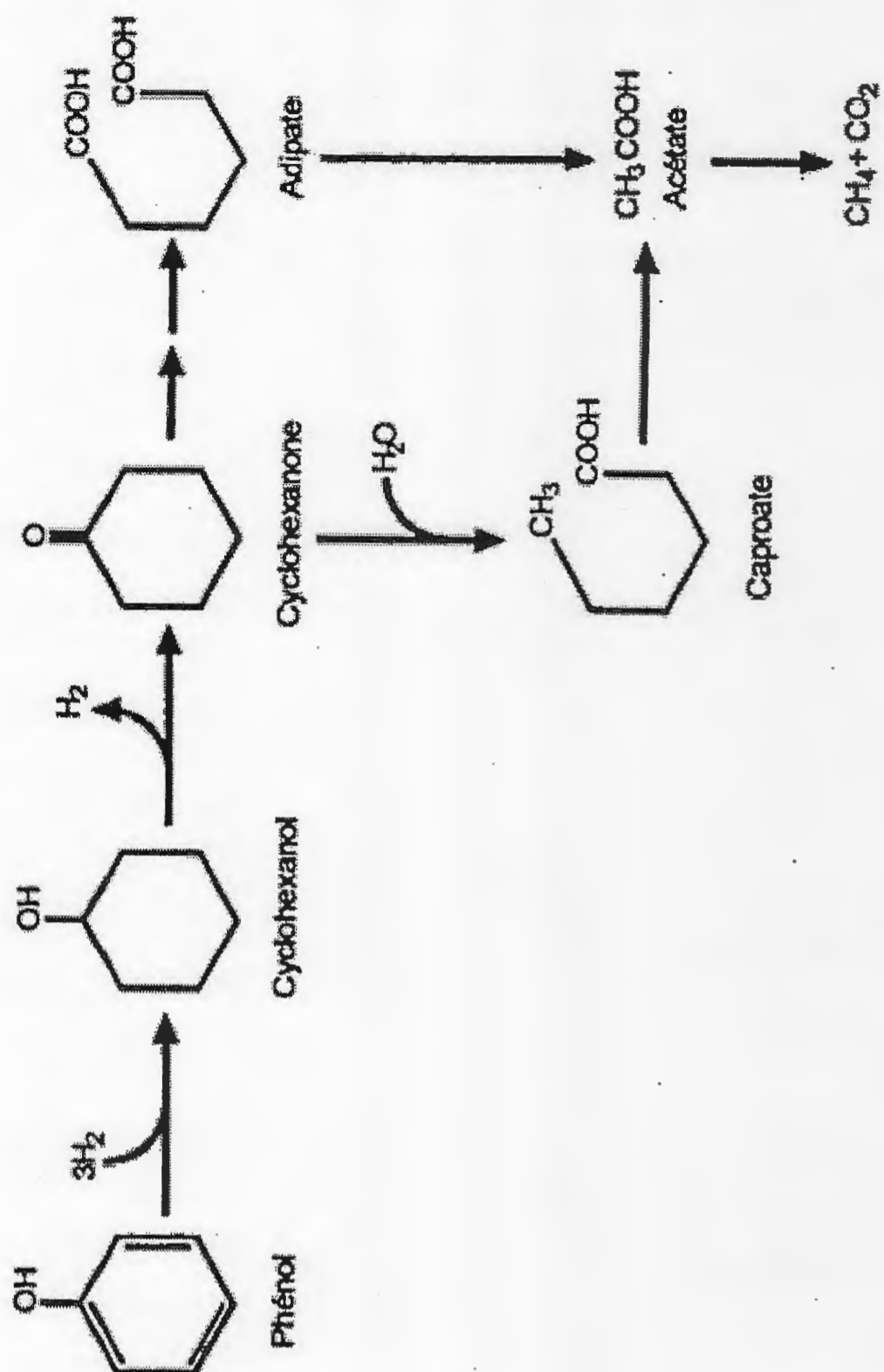


Fig (6) : Dégradation du phénol par la voie métabolique réductrice proposée par Evans (1996) (JOROSLAW, 2000).

II.8.1.1. mécanisme de la biodégradation du phénol par la souche *THAUERA AROMATICA*:

La biodégradation du phénol en cultures pures peut être plus difficile.

BANDYOPADHYAY ET AL., (1998). Ont obtenu dans les conditions dénitrifiantes une dégradation efficace de concentrations de 100 à 500 ppm de phénol dans les eaux usées en utilisant *Pseudomonas putida*, les travaux DE DANGEL ET al (1991). Glöckler et (1989), LACK ET AL (1991), LACK ET FUCHS (1992,1994) et TSCHECH ET FUCHS al (1987,1989) sur des souches de *Thauera aromatica* ont mené à l'élucidation de la voie métabolique utilisée par cet organisme (fig. 7) la transformation du phénol procédé par la phosphorylation initiale pour donner le phényl phosphate qui par la suite est carboxylé en 4-hydroxybenzoate par la phénylphosphate carboxylase, le 4-OHB est activé par l'ajout du groupement t Thio-CoA par l'enzyme CoA ligase qui mené à la formation du 4-hydroxybenzoyl CoA.

L'étape suivante est une deshydroxylation catalysée par la 4-hydroxybenzoyl-CoA réductase.

Les détails de la première étape, entre le phénol et le phénylphosphate, ne sont pas bien connus au niveau du mécanisme enzymatique. L'enzyme hypothétique impliquée dans la phosphorylation a été nommée le phénol kinase.

II.8.1.2. Mécanisme de la Dégradation du phénol par *Clostridium hydroxybenzoicum*, par la souche GS-15 et par la culture de Li et al. :

ZHANG ET WIEGEL (1990) ET LI ET AL (1996) ont été les seuls à prétendre avoir isolé des souches (respectivement *Clostridium hydroxybenzoicum* et souche 6) capables de carboxyler le phénol en condition méthanogènes

La souche réductrice de Fe (III), GS-15 de(LOVLEY ET LONERGAN (1990). minéralise le phénol jusqu'au dioxyde de carbone, l'une des réactions clef de cette dégradation est la carboxylation qui mené au 4-OHB, mais , à la différence de la voie de dégradation du phénol chez *T.aromatica*, où in vitro on ne détecte pas le 4-OHB en fournissant le phénol, les auteurs détectent clairement l'accumulation du 4-OHB à partir de phénol (fig .8).

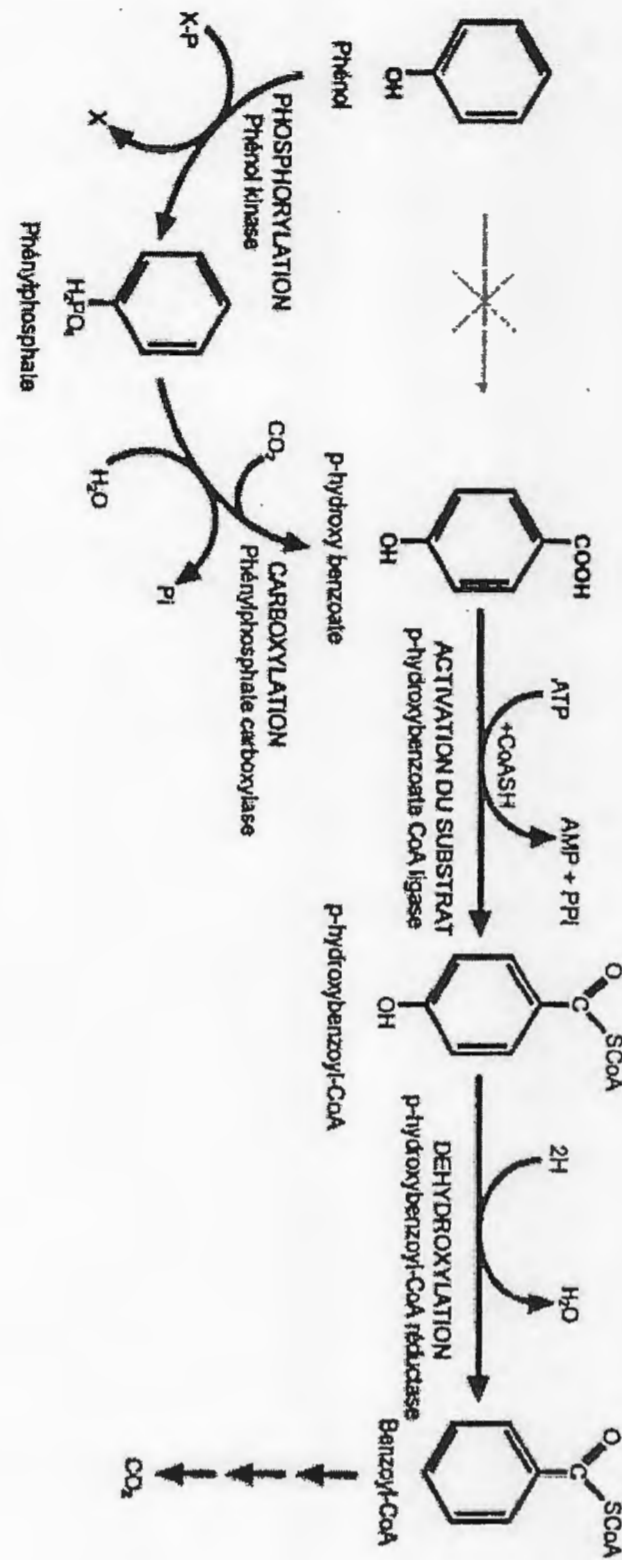


Fig (7) : La voie métabolique de dégradation du phénol par la souche *Thauera aromatica* (modifié d'après Lack Fuchs, 1994) (JOROSLAW, 2000).

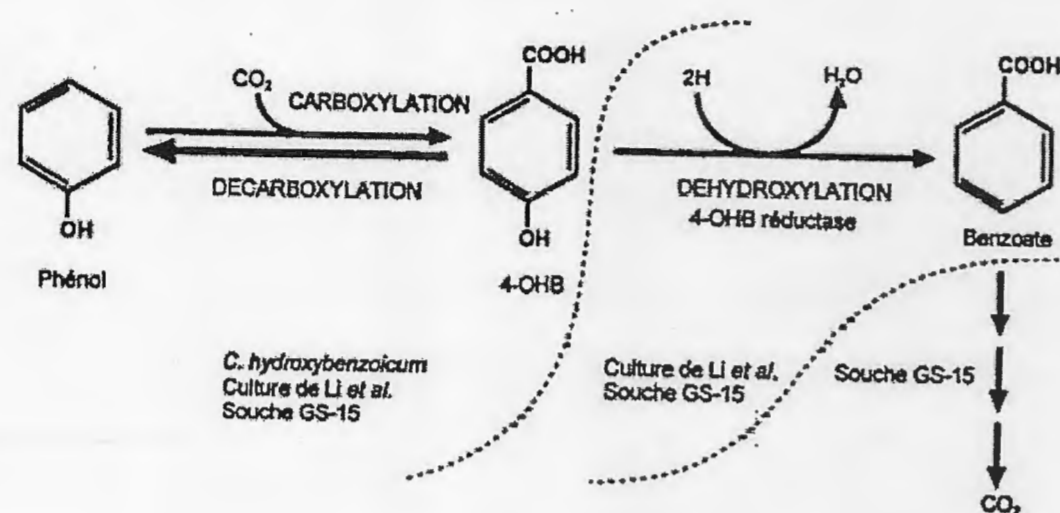


Fig (8) : Dégradation du phénol par *Clostridium hydroxybenzoicum*, par la souche GS-15 et par la culture de Li et al (JOROSLAW, 2000).

II.8.2. Biodégradation aérobie des substances phénolées :

La toxicité des substances phénolées, et surtout leurs dérivés, pose des problèmes sérieux aux spécialistes de l'environnement ; nombre d'entre eux se sont penchés sur la question du processus de métabolisation des produits phénoliques.

II.8.2.1. Mécanisme et microorganisme de biodégradation :

A partir de divers milieux, et notamment d'une flore spécifique appartenant principalement à la famille des Pseudomonadacées, on peut facilement sélectionner un microorganisme capable de métaboliser le phénol et ses dérivés.

Dans un milieu riche en matières organiques biodégradables les souches sélectionnées de microorganismes ont un développement normal en présence des doses importantes de phénols (JOROSLAW, 2000).

La flore aérobie dégrade les phénols et ses dérivés cette flore a été progressivement adaptée à ces substances toxiques (épuration biologique).

Ces derniers temps, les chercheurs ont étudiés l'action d'autres microorganismes sur le phénol. Ainsi, des biochimistes britanniques ont constatés une dégradation continue du phénol par culture de levure dans un milieu où le phénol est la seule source de carbone. (EYROLLES et VILLARS, 1971)



Conclusion

CONCLUSION

La chimie et la métallurgie sont les deux premiers secteurs de production de déchets industriels spéciaux. Une mauvaise gestion de ceux-ci conduit à des pollutions qui peuvent avoir des impacts graves sur la santé humaine et l'environnement.

Certains éléments chimiques sont toxiques sous une forme chimique est inoffensifs sous une autre. Les atomes de polluants peuvent donc exister transitoirement dans le milieu avant de se transformer en une forme chimique sans danger pour l'homme ou l'environnement.

A partir de notre travail nous concluons qu'il existe de nombreux microorganismes capables de dégrader des polluants industriels, notamment les matières organiques en substrats facilement utilisables.

La dégradation d'un substrat peut être le résultat de l'attaque d'une seule souche (souche pure), ou de plusieurs souche (population mixte).

-Le première est que les bactéries diminuent la charge des polluants soit dans les sols ou dans les eaux .

-Le deuxième cas est que les bactéries tirent leur énergie à partir de cette dégradation pour survivre et pour se développer, ce qui conduit à une prolifération microbienne dans l'environnement ou l'homme est contaminé par ces derniers.



Références

bibliographiques

Références bibliographiques

BERNE J. et **CORDONNIER J.**, 1996 – Traitement des eaux Edition lavoisier. P (68, 69).

BLIEFERT C. et **PERRAUD R.**, 2001 – Chimie de l'environnement, air, eau, sols, déchets. Edition DUNOD. P (36, 37, 38).

BOUSSEBOUA H., 2005 – Eléments de microbiologie. Edition DUNOD. P (58, 59)

CALVET R., **BARRIUO E.**, **BEDOS C.**, **BENOIT P.**, **CHARNAYM P.**, et **COQUET Y.**, 2005- les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. Edition france agricole. P (40, 41).

CERNEGLIA C. E., 1992 – Biodégradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. P (36, 37)

DEGREMONT C., 2005 -Contamination des sols : transfert des sols vers les animaux. Tome I, p (36, 37, 38).

EYROLLES J. et **VILLARS G.**, 1971- La pollution des eaux, Chapitre II : métabolisation du phénol et des produits phénoliques. Edition. P (59, 60, 61)

FISHBEIN L., 1981- Sources, transport and alteration of metal compound: an overview T .arsenic, beryllium, cadmium, chromium and Nickel. P (90, 91).

GAID A., 1984-Epuration biologiques des eaux usées urbaines office des population universitaires, Tome 1, Alger. P (34, 36, 57, 67).

GAUJOUS D., 1993-La pollution des milieux aquatiques. Edition Lavoisier. P (195).

GENIN B. et CHAUVIN C., 2003- Cours d'eau-pollution-méthodes-IBGN et indices biologiques. Edition lavoisier. P (36, 37, 53, 55).

GIBSON D.T., 1984- Microbial degradation of organic compounds. Marcel Dekke Inc New: york, Basel. Edition DUNOD. P (67, 68).

GROSCLAUDE G., 1999- L'eau Tome II : usage et polluants .P (74 ,75).

HNATIUC E., 2002-Procédés électriques de mercure et de traitement des polluants Edition lavoisier(Tec et Doc).P (58, 59)

JEROME S. T., STEPHEN P. et PERRY JJ., 2004- Microbiologie. Edition DUNOD. P (853, 854).

JOROSLAW L., Thèse de 2000- Isolement et étude d'une souche bactérienne transformant le phénol en benzoate en conditions anaérobies. P (234, 235, 236).

KUONY S., 2005- caractérisation d'arène dioxygénases impliquées dans la biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques chez mycobacterium sp.Thèse de doctorat, université Josèphe Fourier-Grenoble I (France). P (25, 26, 27, 35).

MORLOT M., 1996 – Aspects analytiques du plomb dans l'environnement. Edition (Tec et Doc) Paris. P (67, 69).

MOUVET C., 1986 – Métaux lourds et mousses aquatiques. Synthèse métabodologique rapport agences de l'eau Ruineuse et Rhône – méditerranée – crose, nop. P (201, 202).

NGÖ C., et REGENT A., 2004 – Déchets et pollution : impact sur l'environnement et la santé. P (48, 49).

PACCAGNELLA B. GHEZZO F., et al 1971 – Epidemiological study of long term effects of pesticides on human health. P (40, 41, 42).

PELMONT J., 2005 - Biodégradation et métabolismes, les bactéries pour les technologies de l'environnement. Edition lavoisier .P (21, 22, 23, 24).

PRATI L., ET PAVANELLO R., ET GHEZZO F., 1972 – Storage of chlorinated pesticides in humain organs and tissues in ferrara province. edition lavoisier . P (55, 87, 89).

RAMADE F., 1993 -Dictionnaire Encyclopédique des pollutions. P (62, 157).

RAMADE F., 2000 -Dictionnaire Encyclopédique des pollutions. P (87, 89).

REHM H.J., REIFF I., 1981 – Mechanisms and occurrence of microbial oxidation of long – chain alkanes. P (11, 15, 16).

RODIER J., 1981 – L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Edition DUNOD. Paris.P (71, 72).

RODIER J., 1996 – L' analyse de l'eau . Edition DUNOD. P (17).

Références bibliographiques

ROUGMAILLE R., 1994- origine et devenir de plomb dans les eaux résiduaires de l'agglomération parisienne. P (343, 346).

SCRIBAN R., 1993 – Biotechnologie 4^{ème} Edition. Edition Lavoisier (Toc et Doc). P (731).

SCRIBAN R., 1989 – biotechnologie 5^{ème} Edition. Ed Lavoisier P(771, 789,801).

THABET M. N., 1989 – Le secteur des hydrocarbures et développement économique de l'Algerie. Edition lavoisier.P (62, 63).

WATKINSON R.J. ET MORGAN P., 1990 - Physiology of aliphatic hydrocarbon. Degrading microorganisms.P (121, 123, 135).

Nom et prénom :

- ZERMANI Wassila
- BOUMAALI Dounia
- BOUTEFIS Rahima

Date de soutenance :

23 Juin 2008

Titre : *Le rôle des micro-organismes dans la biodégradation des polluants industriels*

Nature du diplôme : *Diplôme d'Etude Supérieures (D.E.S)*

Option : *Microbiologie*

Summary :

Microorganisms play an important role in the biodegradation of industrial pollutants such as hydrocarbons and substances phenols.

The degradation or the depollution by micro-organisms is based on their ability to use pollutants as substrates to draw the necessary energy.

The biodegradation of industrial pollutants prevents our world, an important part of accumulations of toxic chemicals released in water or in the soil.

ملخص:

تلعب الكائنات الحية الدقيقة دورا هاما في تفكيك الملوثات الصناعية، مثل المواد الهيدروكربونية والمواد الفينولية.

هذا التفكيك الحيوي أو إزالة التلوث بواسطة الكائنات الحية الدقيقة يعتمد أساسا على قدرتها في استعمال هذه الملوثات كمواد تستخلص منها الطاقة اللازمة لها.

إن التفكيك الحيوي للملوثات الصناعية يخلص عالمنا من جزء معتبر من المواد الكيميائية السامة المتراكمة والمصروفة في المياه أو التربة.

Résumé :

Les microorganismes jouent un rôle important dans la biodégradation des polluants industriels tels que les hydrocarbures et les substances phénolées.

Cette biodégradation ou la dépollution par les microorganismes est basée sur la leurs capacités d'utiliser les polluants comme substrats pour tirer l'énergie nécessaire.

La biodégradation des polluants industriels empêche notre monde d'une partie importante d'accumulations des produits toxiques rejetés soit dans les eaux, soit dans les sols.

Les mots clés : microorganismes, biodégradation, hydrocarbures, polluants industriels, substances phénolées.