REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université de Jijel

MB . 03/08

09/02

Faculté des Sciences
Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire

Mémoire

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

Option : Microbiologie

Thème

La biodégradation des pesticides

Les membres de jury :

- **Examinateur : Dr. H.Ouled Haddar**
- **Encadreur : Melle S.Laggoune**

Présente par :

- **Bensalhia Siham**
- **Mezhoud Nawel**
- **Laribi Nassima**

Promotion: 2007-2008

بسم الله الرحمن الرحيم

(قالوا سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم)

سورة البقرة الآية 32

﴿ رب أشرح لي صدري ويسرلي أمري وأحلل عقدة من

لساني يفقهوا قولي ﴾

Remerciement

Nous remercions« Allah » qui nous a donné du courage et de la volonté d'avoir réussit dans notre étude.

*Nous tenons à remercier notre encadreur*Melle* ***S. laggoune*** *qui nous a proposé ce sujet de recherche, et qui nous a encadré et surtout pour ses conseils, sa compréhension, sa gentillesse, ses encouragements et sa bibliographie.*

Nous voudrions remercier aussi toute personne qui a contribué de loin ou de prés à la réalisation de ce mémoire, et tous les enseignants de la Biologie de l'Université de JIJEL.

Enfin, notre respect aux membres de jury pour avoir examiné et critiqué le contenu de notre mémoire.

Sommaire

Introduction générale 1
Chapitre I: l'utilisation des pesticides
I-1/ Historique 2
I- 2/ Définition.....2
I-3/ Les propriétés 2
I-3-1/ Propriétés physicochimiques.....2
I-3-2/ Propriétés chimiques 3
I-3-3/ Propriétés spectroscopiques.....3
I-4/ L'intérêt des pesticides 3
I-4-1/ Protection des végétaux et de leurs produits.....3
I-4-2/ Les aspects sanitaires de l'utilisation pesticides 4
I-4-3/ L'entretien des espaces non agricoles 4
I-5/ Classification des pesticides 4
I-5-1/ Classification selon mode d'action 4
a/ Insecticides 4
b/ Les fongicides.....5
c/ Les herbicides.....5
d/ Pesticides d'emploi particulier.....6
I-5-2/ Classification chimique 6
I-5-3/ Classification biologique 6
Chapitre II: la toxicité des pesticides
II-1/ Introduction 7
II-2/ Transport des pesticides 7
II-3/ La bioaccumulation et biomagnification.....7
a/ Pesticides et écosystèmes 8
II-4/ Les effets des pesticides sur l'environnement 10
II-4-1/ Pollution des milieux.....10
II-4-2/ Les lieux d'habitation.....11
II-4-3/ L'effet sur les oiseaux 12
II-4-4/ Les effets sur communiantes benthiques 12
II-4-5/ Les effets sur les amphibiens 12
II-4-6/ Les effets sur les poissons.....13
II-4-7/ Les effets sur les mammifères.....13
II-4-8/ Les effets sur lesreptiles.....14
II-4-9/ Les effets sur les flores 14
II-5/ les effets des pesticides sur la santé humains 14
II-5-1/ Les professionnels 14
II-5-2/ Les citoyens 15
II-5-3/ La toxicité aiguë 15
a/ Organochlorées cyclique 16
b/ Pentachlorophénol (PCP) 16
c/ Organophosphatés 16
d/ Carbamates.....17
e/ Pyréthrinoïdes.....17
f/ Dithiocarbamates 17
II-5-4/ Toxicité chronique 17
a/ Organochlorés cyclique.....18

b/ Pentachlorophénol (PCP) 18
c/ Organophosphatés 18
d/ Pyréthrinoïdes 18
e/ Dithiocarbamates 19
f/ Dérives du bipyridinium 19
II-5-5/ les victimes des pesticides 19
II-5-6/ La résistance 20
Chapitre III: la biodégradation des pesticides
III-1/Introduction 22
III-2- Définition 22
III-3- Généralité 22
III-4- Importance et diversité des micro-organismes 22
III-5- Mécanismes microbiens de la dégradation biotique 23
III-5-1. Les facteurs intervenant sur la biodégradation 24
III-5-2. Les trois mécanismes microbiens de la dégradation 25
a/ Le métabolisme direct 25
1/ Définition 25
2/ Caractéristiques générales 26
b/ Le cométabolisme 27
c/ La conjugaison et la condensation 28
III-5-3. Les principales réactions mises en jeu dans la dégradation microbiologie des pesticides 29
a/ Réaction d'hydrolyse 29
b/ Réaction d'oxydation 29
c/ Réactions de réduction 31
III-5-4. Les enzymes impliqués dans la dégradation des pesticides 33
III-6. Pratiques destinées à réduire les risques de pesticides 34
III-6-1Pratiques relatives à la mise en œuvre des pesticides 34
III-6-1-1. Transport, stockage et manipulation des produits Phytosanitaires 35
III-6-1-2. Les modalités de traitement 36
III-6-2.Les aménagements de l'espace 37
III-6-3.Les diagnostics agro-environnementaux 38
Conclusion 39

Liste des tableaux

Tableau -1: Comparaison entre le métabolisme direct et le cométabolisme 28

Tableau-2 : Principaux groupes chimiques des molécules pesticides pouvant être réduits 32

Tableau-3 : Principaux groupes fonctionnels des molécules pesticides impliqués dans des réactions d'oxydation.....32

Tableau-4 : Principales relations qualitatives entre la résistance à la minéralisation et les caractéristiques chimiques des molécules pesticides.....33

Tableau -5 : Exemples d'enzymes spécifiques 34

LISTE DES FIGURES

Figure -1- : Accumulation des pesticides organohalogènes dans un système aquatique **8**

Figure -2 - : Concentration des résidus de DDT aux différents niveaux d'un chaîne alimentaire simple. La concentration en DDT augmente au cours du passage par la chaîne, elle est la plus forte chez les carnivores.....**9**

Figure- 3-: DDT et sa concentration dans la chaîne alimentaire **10**

Figure -4- Comparaison schématique entre le métabolisme direct et le cométabolisme.....**27**

Introduction

Introduction générale:

Il existe un grand nombre d'organismes vivants nuisibles aux végétaux, aux animaux mais aussi à l'égard de l'homme et des bâtiments d'élevage et d'habitation.

Beaucoup d'activités sont confortées à ces organismes mais les activités agricoles sont probablement parmi les plus exposées et, donc demandeuses de moyens de prévention et de lutte. Ces moyens sont très varies et vont des mesures prophylactiques aux traitements chimiques généralisés en passant par des interventions mécaniques, des interventions biologiques et des traitements chimiques localisés (Séverin., 2002).

De nombreuses substances chimiques sont ainsi utilisées. Ce sont les pesticides, leur composition et leur structure sont très variées, de sorte que leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques le sont aussi, ce qui explique leurs multiples usages, leurs dangers, ainsi que les difficultés rencontrées pour décrire et prévoir leurs devenir dans les sols.

À la nature même dcs pesticides qui en font, dans certaines conditions, de possibles polluants de l'air, des eaux, des aliments et des sols. Il est nécessaire que la problématique soulevée par les pollutions potentielles soit très soigneusement étudiée pour les limiter voire les supprimer complètement. Les produits phytosanitaires comme la plupart des pesticides, d'une façon générale sont apportés dans les différents compartiments de l'environnement où ils se dispersent et se dégradent plus ou moins complètement et plus ou moins rapidement.

Ce pendant, quelles que soient les modalités de leur introduction dans l'environnement, une grande partie des pesticides transitent par le sol où ils sont apportés directement par les traitements ou indirectement par l'eau et les retombées atmosphériques. Cela explique que les conditions de leur utilisation et les conséquences qui en résultent dépendent beaucoup de leur devenir dans le sol. Ce devenir est en processus global faisant intervenir des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Sa connaissance est indispensable à la maîtrise de leur utilisation, c'est-à-dire à l'obtention d'une bonne efficacité des traitements et aussi à la prévision et à la limitation de leur dispersion dans l'environnement (Raoul *et al.*, 2005).

Notre choix s'est porté sur «la biodégradation des pesticides », le travail qui sera décrit dans ce mémoire est divisé en 3 chapitres :

- Le premier : l'utilisation des pesticides.
- Le deuxième: la toxicité des pesticides.
- Le troisième: la biodégradation des pesticides.

Chapitre 1

L'utilisation des pesticides

I-1/ Historique :

La lutte contre les organismes nuisibles aux cultures a certainement été tous temps une préoccupation de l'agriculture. Pendant longtemps, l'essentiel des moyens était de nature physique (Raoul et *al.*, 2005).

Dès la fin du XIX siècle, la protection des cultures a fait appel à la chimie, soufre, sels de cuivre (fongicide), nicotine (insecticide), sulfate de fer (herbicide), l'arsenal, elle est accru constamment jusqu'à nos jours (Eugène., 2002).

A fin de siècle XIX on utilisait de pesticides minéraux dans la lutte contre les maladies de la pomme de terre en Irlande ou de la vigne (Guy et Elisabeth., 2003).

L'utilisation de pesticides minéraux ou organiques (nature ou synthétique) s'est étendue, surtout à partir de 1940 alors que certains produits avaient été synthétisés antérieurement; Lindane en 1826 (propriétés connues en 1935), DDT en 1873 (propriétés connus en 1939), organomécuriels en 1915, carbamates en 1927 (Guy et Elisabeth., 2003).

I- 2/ Définition :

Pesticides (de latin pestis = peste et occider = tuer): substances toxiques utilisées par l'homme pour lutter contre "les pestes" : Terme général désignant les organismes nuisibles à l'homme (insectes, champignons, nématodes ...), de façons directe domaine médical ou indirect- agriculture (domaines qu'ils doivent combattre) (Jean *et al.*, 2003).

Les pesticides sont des produits phytosanitaires suivant l'optique envisagée.

Les produits sont pour simplifier classes en trois catégories: Les herbicides (action sur les herbes indésirables ou adventices, action préventive sur le sol avec inhibition des germinations). Les insecticides et les désinfectants dans lesquels on comprend les fongicides, les bactéricides, les virucides, les nématocides... etc. (Max., 1995).

Ces produits sont répandus volontairement dans l'environnement contrairement par exemple aux métaux lourds au fluor, qui sont des résidus industriels, ou aux substances radioactives, accidentellement ou militairement répandues dans l'environnement, les engrais ne sont pas des pesticides car ils sont utilisés pour augmenter directement le rendement des récoltes auxquelles les pesticides apportent une certaine protection donc aussi une augmentation de rendement (Jean *et al.*, 2003).

I-3/ Les propriétés des pesticides:

I-3-1/ Propriétés physicochimiques :

Placés dans un milieu comme le sol, les molécules d'une substance peuvent être soumises à des phénomènes qui modifient leur état physique sans altères leur composition et leur structure. Les propriétés correspondant à ces changements d'état sont les propriétés physico-chimiques. Pour les pesticides, les changements d'état concernent soit les substances pures; liquides ou solides, soit les substances dissoutes (Raoul et *al.*, 2005).

Ainsi, bien que probables, la précipitation et la condensation des pesticides sont très peu connues et on ne sait pas vraiment qu'elle peut être leur importance pour le devenir des pesticides dans le sol.

En revanche, le partage entre une solution et l'air ainsi que la désorption jouent un rôle déterminant et sont beaucoup mieux connus (l'adsorption et la désorption dépendant de l'ensemble des propriétés du système pesticide sol) c'est à dire des propriétés moléculaires, mais aussi des propriétés de la phase liquide et de celle de la phase solide du sol. Au contraire, la dissolution et l'évaporation ne dépendent pas des propriétés des surfaces des constituants des sols (Raoul et *al.*, 2005).

I-3-2/ Propriétés chimiques :

Placée dans des conditions appropriées, une molécule peut être transformée et subir des modifications de sa composition et de sa structure. Les phénomènes responsables de ces transformation sont les phénomènes chimiques et les aptitudes des molécule à les subir sont les propriétés chimiques relatives aux pesticides il s'agit de l'ionisation, l'hydrolyse, l'oxydoréduction et la photolyse (Raoul et *al.*, 2005).

I-3-3/ Propriétés spectroscopiques :

Les molécules organiques peuvent émettre de l'énergie ou en absorber quand elles sont placées dans un champ électromagnétique, cette émission et cette absorption dépendent des caractéristiques du champ électromagnétique appliqué mais aussi de la composition et des groupes fonctionnels des molécules, ce qu'en fait de puissants outils d'analyse (Raoul et *al.*, 2005).

I-4/ L'intérêt des pesticides :

Les pesticides sont utilisés depuis un siècle, et on peut naïvement penser qu'il existe quelques intérêts à leur usage:

I-4-1/ Protection des végétaux et de leurs produits :

C'est probablement une des applications des pesticides à la fois la plus ancienne et la plus répandue et qui a considérablement contribué au développement de l'agriculture. Elle n'a d'abord concerné que la protection des cultures puis de leurs produits et beaucoup plus tardivement celle des espaces de loisirs. L'agriculteur a toujours essayé de protéger les cultures et de les «soigner» quand elles étaient atteintes par une maladie, ravagées par un insecte ou envahis par des mauvaises herbes, en effet, les organismes nuisibles sont à l'origine de dégâts très importants qui peuvent, malheureusement, gravement compromettre la qualité et la quantité des récoltes (Raoul et *al.*, 2005).

I-4-2/ Les aspects sanitaires de l'utilisation des pesticides :

Les pesticides sont le plus souvent attachés à un usage agricole mais ils ont aussi d'autres applications peut être moins bien connues au public. L'entretien des bâtiments et des matériels d'élevage permet notamment d'éliminer des insectes nuisibles aux animaux.

Les opérations de désinsectisation et de dératisation sont couramment pratiquées dans les bâtiments agricoles et les habitations, dans le domaine des aspects sanitaires, il faut évidemment est qu il y la lutte contre les insectes vecteurs de maladie dont l'exemple le plus marquant est la lutte contre les moustiques qu'a été, et est toujours déterminante pour éradiquer la malaria. Enfin, certains champignons pathogènes produisent des toxines qui peuvent parfois être un réel danger pour l'homme (Raoul et *al.*, 2005).

I-4-3/ L'entretien des espaces non agricoles :

Les espaces non agricoles tels que les voies routières, les aérodromes, les voies de chemin de fer et les aires industrielles ainsi que les zones pare-feu font l'objet de désherbages pour les sécuriser et faciliter leur exploitation. Les modalités de traitement sont différentes de celle des zones agricoles et font l'objet d'une réglementation (Raoul et *al.*, 2005).

I-5/ Classification des pesticides :

I-5-1/ Classification selon le mode d'action :

a/ Insecticides : Après les insecticides à base d'huile minérale ou de minéraux : composés arsenicaux, dérivés du mercure,... sont apparus les insecticides organiques de synthèse.

Insecticides organochlorés : La plupart de ces dérives de très haute toxicité ne sont en théorie plus employés, ces produits provoquent une hépatomégalie (augmentation du volume du foie) avec induction adaptative des enzymes du réticulum lisse hépatique et sont transformés en époxydes très réactifs vis-à-vis des molécules protéiques et des acides nucléique (Raoul et *al.*, 2005).

Le DDT désorganise les potentiels des membranes en altérant le transport des ions sodium et potassium, bloque les nerfs moteurs et sensitifs, le cortex moteur et la formation d'ATP musculaire, Lindane, HCH (symptôme d'intoxications proches de celle au DDT) (Raoul et *al.*, 2005).

Insecticides organophosphorés : Plus rapidement dégradables, ils ont remplacé les insecticides organochlorés. Citons parmi les produits particulièrement utilisés: le dichlorvos (dans les plaquettes insecticides), le malathion, le parathion.

Ce sont des inhibiteurs de l'acétylcholinestérase, chez les insectes et les vertébrés (Raoul et *al.*, 2005).

- **Les carbamates :** Leurs propriétés insecticides, fongicides et herbicides sont liées à la fonction carbamates (Raoul et *al.*; 2005).

- **Les insecticides d'origine végétale :**

  - **La nicotine :** elle réagit sur les ganglions du système nerveux végétatif.
  - **Les roténoïdes :** ils inhibent l'oxydation du NAD (Raoul et *al.*, 2005)

- **Substances à effets spécifiques :** L'utilisation intensive des organochlorés, organophosphorés carbamates et autre pesticides chimiques fait apparaître :

- des déséquilibres des écosystèmes par concentration progressive dans les chaînes alimentaires
- des résidus dans le sol, l'eau des ruissellements et les récoltes des couches résistantes nécessitant des traitements plus nombreux, plus coûteux et plus toxiques (Guy et Elisabeth., 2001).

b/ Les fongicides : Ce sont des composes toxiques vis-à-vis des champignons inférieurs (Guy et Elisabeth., 2001).

- Fongicides affectant les processus respiratoires.
- Fongicides agissant sur les microtubules.
- Fongicides stimulateurs de défenses naturelles.
- Fongicides affectant des biosynthèses (Raoul et *al.*, 2005).

c/ Les herbicides : Leurs mécanismes d'action chez les végétaux sont divers. Ils peuvent :

- Bloquer la respiration cellulaire ;
- Bloquer la photosynthèse au niveau de la formation des plastes, le transport d'électrons
- Perturber la synthèse des acides nucléiques
- Inhiber les enzymes de protéosynthèse

- Modifier ou bloquer la division cellulaire

-Détruire en fin la matière organique (Guy Elisabeth., 2001).

d/ Pesticides d'emploi particulier :

On utilise des pesticides dans la lutte contre les rongeurs, les limaces et les escargots et les parasites. (Guy Elisabeth., 2001).

I-5-2/ Classification chimique :

Il existe trois catégories de pesticides :

- **Les insecticides inorganiques :** Ils sont peu nombreux mais certains sont utilisés en très grandes quantités comme le soufre et le cuivre. (Raoul et *al.*, 2005).

- **Les pesticides organométalliques :** 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 dithiocarbamates.

- **Les pesticides organiques :** Ils sont très nombreux et appariement à diverses familles chimiques (ou classe chimique) selon le pesticide L'ensemble des molécules dérivées d'un groupe d'atomes qui constituent une structure de base (Raoul et *al.*, 2005).

Il n'est existe pas de listes particulières de familles chimiques, étant donné que leur définition dépend des critères utilisés (Raoul et *al.*, 2005).

I-5-3/ Classification biologique :

Selon les organismes vivant visés, on distingue plusieurs catégories de pesticides dont les principales sont les insecticides acaricides, les fongicides et les herbicides (Raoul et *al.*, 2005).

Il n'est possible d'établir de règles générales de correspondance entre la nature chimique des pesticides et de leur activité biologique, mais on peut faire quelques remarques intéressantes pour une grande partie d'entre eux :

1- Les acides, les chloracétanilides, les nitriles, les urées substituées, les uraciles et les ammoniums quaternaires sont des herbicides.

2- Les dérivés organophosphorés sont, pour la plupart, des insecticides mais certains sont des fongicides.

3- Les azotes sont des fongicides.

4- Les pyréthrinoïdes sont des insecticides ou des acaricides.

5- Les carbamates constituent une famille polyvalente puisqu'on trouve aussi bien des herbicides que des fongicides ou des insecticides (Raoul et *al.*, 2005).

Chapitre II

La toxicité

II-1/ Introduction :

On sait depuis plusieurs décennies que les pesticides peuvent occasionner des risques pour l'environnement, la santé des organismes vivants et la santé humaine. Depuis les années 1970 certains pesticides largement utilisés ont été introduits après qu'on eut mis en évidence leurs propriétés particulièrement dangereuses (Ex: DDT, Lindane) (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006) .

Les pesticides sont plus ou moins toxiques à l'égard de l'homme qui peut être atteint par contact (voie cutanée et voie oculaire), inhalation (voie respiratoire) ou ingestion (voie digestive), l'existence de cette toxicité impose de limiter voire d'éviter leur présence dans les aliments ainsi que le respect de règles strictes de manipulation. Des limités maximales de résidus (LMR) ont été définies à ce propos et ont fait l'objet de textes réglementaires pour leur définition et l'évaluation des risques pour la santé. Elles ne concernent que les produits frais et non les produits transformés (Conso *et al.*; 2002).

II-2/ Transport des pesticides :

Les pesticides associés à plusieurs mécanismes de transport. Les principaux mécanismes de transport de pesticides vers lcs caux de surface et souterraines sont : ruissellement (pesticides sous forme dissoute ou liés à des particules de sols) et le lessivage de drainage du surplus d'eau qui s'infiltre dans les sols agricoles par les canaux de drainage souterrains entraîne aussi les pesticides vers les eaux de surface, les pesticides peuvent aussi être transportés par l'air (gouttelettes, vapeurs) (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006).

Ils présentent généralement des taux 30 à100 fois plus importants en pesticides que les pluies (les gouttelettes les plus fine sont celles qui concentrent le plus les pesticides) (édition terre vivante., 2002)

II-3/ La bioaccumulation et biomagnification :

En elles même ces propriétés généralement associées aux composés lipophiles, résistants à la dégradation ne sont pas considérés comme des effets biologiques indésirables. Les pesticides organochlorés sont en général persistants dans l'environnement et tendent à se stocker dans les graisses. Ce pendant, la bioaccumulation est plus marquée avec certaines molécules qu'avec d'autre, ainsi le DDT est stocké dans les graisses plus longtemps que le methoxychlore (Frank.,1992).

Le DDT s'accumule aussi dans les tissus graisseux humains, par exemple dans le foie ou les riens: on a détecté jusqu'à 10 mg /kg.

L'accumulation de DDT a été mise en évidence avec des substances marquée au C^{14} (Claus et Robert., 2001).

La biomagnification est le résultat de la bioaccumulation dans l'organisme, conjuguée avec la persistance dans l'environnement (Frank., 1992). Par exemple le DDT est lipophile et se retrouve dans la fraction lipidique des fluides corporels, notamment le lait : avec une consommation maternelle de DDT de 0,5µg/kg/jour, le jeune allaite pourra recevoir 11.2 µg/kg/jour (Frank., 1992).

Cette biomagnification provient d'une part du stockage du DDT dans l'organisme humain (10 à 20 fois la dose journalière) et d'autre part du régime essentiellement lacté de l'enfant. De plus l'apport calorique par kg de poids corporel est plus grand chez les jeunes que chez les adultes (Frank., 1992).

La biomagnification est encore plus marquée chez les animaux carnivores (Guy et Elisabeth., 2001).

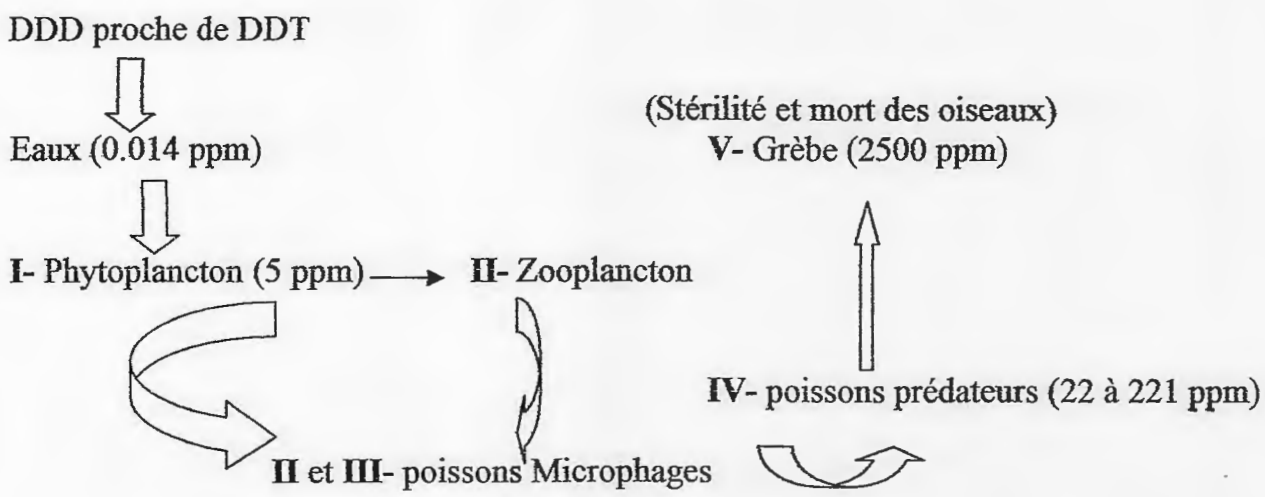

Figure -1- : Accumulation des pesticides orgamohalogènes dans un système aquatique (Guy et Elisabeth., 2001).

a/ Pesticides et écosystèmes :

On produit chaque année environ 500 million de tonnes de pesticides et d'herbicides destinés aux cultures, rien que pour les états-unis. On a estimé qu'un pour cent seulement de cette énorme, quantité atteint les organismes visés. La majeure partie du reste aboutit au sol, à l'eau ou à des organismes non visés de l'écosystème, ou encore se répand dans les écosystèmes voisins, où elle peut entraîner de graves nuisances. Ces résidus peuvent provoquer, par exemple, l'élimination de certaines espèces et la perte de ces espèces peuvent affecter le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème ou aboutir indirectement à l'élimination d'autres espèces. L'abondance de décomposeurs importants, comme les vers de terre et d'autres organismes du sol peuvent être fortement réduite par les pesticides et les herbicides de telle sorte que le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème est perturbée (Peter *et al.*, 2000).

Exemple de bioconcentration du DDT dans un écosystème aquatique.

Source environnementale	Concentration ppm
DDT administré aux cultures dans les champs lessivage	
↓	
Rivières, lacs	0.00005
↓	
Algues	0.05
↓	
Zooplancton	-
↓	
Poisson	0.25
↓	
Oiseaux	10.0

Figure-3-: DDT et sa concentration dans la chaîne alimentaire (Jérôme., 2004).

Les plus grands consommateurs dans la chaîne alimentaire, poissons, oiseaux, humains, et autres mammifères peuvent accumuler dans leurs tissus de fortes quantités de DDT. En effet certains humains présentent des concentrations supérieures à 50 ppm (parties par milliards) dans leurs tissus, concentration bien plus élevée que la concentration autorisée pour les animaux tels que le bœuf, utilisé pour la consommation humaine.

Le DDT est particulièrement nocif pour les oiseaux qui mangent les insectes ou les poissons qui présentent de grandes concentrations en pesticides (Jerome., 2004).

II-4/ Les effets des pesticides sur l'environnement :

Les pesticides sont des contaminations majeures de l'environnement. Ces produits sont volontairement répandus à grande échelle dans l'environnement environ 74500 tonnes des pesticides ont été utilisés en 2003 en France.

L'usage «voies ferrées » représente environ 300 tonnes d'herbicides par an, sur ce total, 41% sont constitués par les herbicides, 39% par des fongicides, 9% par des insecticides et 11% pour les autres produits (James *et al.*, 2005).

L'importance de ces effets dépend de la toxicité des produits et de leur persistance dans le milieu.

Un de problèmes liés à certains polluants est leur tendance à se concentrer au cours de leur passage par les chaînes alimentaires ils atteignent ainsi leurs concentrations maximales chez les prédateurs situés au somment de la pyramide (figure -2 -).

DDT :

- Chez les consommateurs tertiaires (Carnivores du sommet)
- Chez les consommateurs secondaires (Carnivores)
- Chez les consommateurs primaires (Herbivores)
- Chez les producteurs primaires (Plantes et algues)

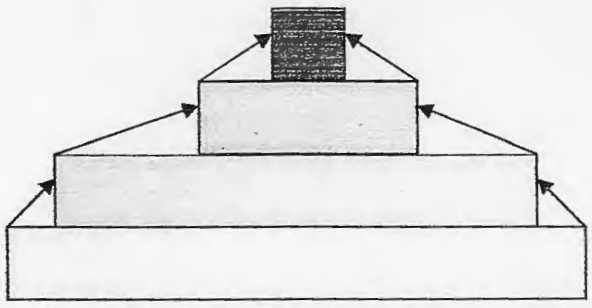

Figure -2 - : Concentration des résidus de DDT aux différents niveaux d'une chaîne alimentaire simple. La concentration en DDT augmente au cours du passage par la chaîne, elle est la plus forte chez les carnivores (Peter *et al.*, 2000).

DDT est un exemple de pesticide persistant. Contrairement aux matières organiques naturelles, telles que le chitine, qui sont directement dégradées par les microorganismes dans le cycle du carbone, certains composes xénobiotiques, tels que le DDT, ne le sont pas. En effet, le DDT est récalcitrant à la dégradation et persiste dans l'environnement pendant de longues périodes de temps.

De plus, le DDT est concentré dans la chaîne alimentaire dans un processus appelé la bioconcentration (figure-3-). Bien que ce pesticide soit généralement présent en concentration relativement faible dans les sols et les habitats aquatiques, il se concentre dans les tissus gras. Ainsi, en entrant dans la chaîne alimentaire, le DDT se concentre dans les tissus des animaux qui ont une plus longue durée de vie et font partie des niveaux trophiques les plus élevés.

II-4-1/ Pollution des milieux :

De puis plus d'un quart de siècle, on sait que l'utilisation de certains pesticides provoque de profondes modifications de l'écosystème dans lequel on les introduit (édition terre vivantes., 2002)

- **Les sols :** Les pesticides peu dégradable, ou présents dans un sol acide ou pauvre en bactéries, se stabilisent en se liant à certains constituants du sol. Par exemple, sous monoculture de blé traité à l'atrazine après 1moins presque 50 % de l'atrazine se retrouvent sous forme de résidu lié. Le sol, sous certaine conditions (réchauffe, érodes, acidifié, dégradé, amende...), peut restituer les pesticides ou leurs sous produits, durant plusieurs années ou décennies (Raoul., 2005).

- **Les eaux de surface et souterraines :** Un rapport de l'institut France de l'environnement l'IFEN (2001) dans son rapport sur la contamination des eaux par les pesticides en France relève l'ampleur du problème. L'ensemble des cours d'eau étudiés est l'objet d'une contamination par les pesticides (à 6 % près) et 75 % des points surveillés en eaux souterraines sont altérés par la présence de pesticides.

Parmi les substances les plus fréquemment identifiées, on retrouve, d'année en année, les herbicides de la famille des triazines (y compris les produits de dégradation), aussi bien dans les cours d'eaux que dans les eaux souterraines, ce sont également en majorité des triazines qui contaminent les zones estuariennes et côtiers du littoral, les grands fleuves de France les alimentant (environ 10 tonnes par an) (édition terre vivante., 2002)

Concernant les départements d'outre mer, malgré l'imperfection des informations collectées, les résultats montrent un niveau de contamination important des ressources en eau (édition terre vivantes., 2002).

- **L'atmosphère :** Nombre de pesticides est présents dans l'atmosphère. Ils s'y trouvent à cause de leur épandage (de 30 à 75 % des produits épandus sont transférés); le taux de transferts dépend de plusieurs facteurs tels; les caractéristiques du produit (solubilité, volatilité, capacité à se dégrader), le type de sol, les pratiques agricoles, le type de pulvérisation, les conditions climatiques.

Les pesticides sont véhiculés par les flux atmosphériques: Les travaux de géochimistes et écologues américains confirment que des pesticides peuvent contaminer de vastes zones en voyageant dans l'atmosphère, avant de retomber avec les intempéries ou sous forme de dépôts secs.

Les eaux de pluie se chargent de pesticides: Les transferts des polluant de l'atmosphère à la pluie se fait au niveau du nuage. Les gouttelettes de pluie se chargent de produit qui peut avoir une origine locale, le plus souvent, les traces de biocides trouvées dans les nuages résultent d'un transport à moyenne ou longue distance. Les teneurs étant très faibles, de l'ordre du nano gramme (milliardième de gramme par mètre cube) (édition terre vivante., 2002)

II-4-2/ Les lieux d'habitation :

Certains produits domestiques (produits de traitement des bois ou tissus, insecticides, produits antiparasitaires ...) contiennent des matières actives nocives par contact, inhalation ou ingestion, ils imprègnent murs, rideaux coussins, moquettes et poussières exposant les enfants à des doses souvent supérieures à celles des adultes.

Des études nord-américaines mettent en évidence la présence de 1 à 18 pesticides dans l'air des maisons étudiées (édition terre vivante., 2002).

II-4-3/ L'effet sur les oiseaux :

Le recensement des oiseaux affectés par les pesticides est difficile à réaliser, car seule une faible proportion des décès est documentée. En effet, la plupart des oiseaux empoisonnés se cachent et vont mourir dans les endroits éloignés, selon les scientifiques d'environnement au Canada, les oiseaux vivant à proximité de terres agricoles peuvent être plus sujets à des intoxications aux pesticides.

En plus des cas de mortalité, les oiseaux peuvent aussi être affectés indirectement au niveau physiologique, par exemple par un manque de coordination et une perte d'appétit ainsi que diverses autres modifications de leur comportement. Affaiblis, ils sont plus sujets à l'hypothermie et à la prédation, ils peuvent se révéler incapables d'attirer un partenaire, de défendre leur territoire ou d'élever leur couvée (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006)

La concentration de DDT dans les tissus des oiseaux rapaces rend la coquille de leurs œufs anormalement mince. La coquille de ces œufs peut se briser avant l'éclosion des poussins et entraîner leur mort et diminuant les taux de reproduction (Peter., 2000).

II-4-4/ Les effets sur communautés benthiques :

Les analyses ont démontré la présence de 17 pesticides dans le ruisseau saint-Georges (15 herbicides, 1 insecticide, 1 fongicide). Les herbicides détectés le plus régulièrement et à des concentrations les plus élevées étaient l'atrazine, le metolachlore, le bentazone, à deux occasion la concentration d'atrazine et de metochlore ont dépassé leur critère pour la protection de la vie aquatique (Richard et Girox., 2004). Selon les résultats de cette étude, en zone agricole, la faible qualité des bandes riveraines, les fortes concentrations de phosphore, les valeurs parfois élevées en coliformes fécaux et la présence de nombreux pesticides imposent un stress indéniables aux communautés benthiques, de fait, selon les autres, l'atrazine aux concentrations de 1 à 5 µg/l observées dans le ruisseau Saint- Georges, peut réduire la croissance des algues vertes, inhiber partiellement la photosynthèse du phytoplancton, réduire la productivité primaire, la production d'oxygène dissous et la respiration des communautés aquatiques (Richard et Girox., 2004).

Les pesticides comme l'atrazine pourraient s'accumuler dans les sédiments et atteindre des concentrations non viables pour les organismes infleodes (Richard et Girox., 2004).

II-4-5/ Les effets sur les amphibiens :

La population d'amphibiens est mondialement en déclin et plusieurs hypothèses ont été soulevées pour expliquer les causes de ce déclin. Les causes possibles sont la perte ou la dégradation des milieux humides ou encore l'influence conjuguée de multiple facteurs: changement climatique, augmentation des rayons ultraviolets, introduction d'espèces exotiques, surexploitation (alimentation humaine), pollution ...etc (Aubertot *et al.*, 2005).

Les contaminants chimiques en provenance de l'agriculture ont été proposés comme étant particulièrement sensibles à de nombreux pesticides. Ils peuvent être plus sujets à des stress environnementaux et à l'exposition aux toxines, car une partie de leur développement se déroule dans l'eau. Une étude actuellement menée par le Centre Saint-Laurent d'environnement de Canada, vise à déterminer si les pesticides utilisés en milieu agricole dans la vallée du Saint-laurent plus précisément dans les îles de Boucherville et certains tributaires affaiblissent le système immunitaire des amphibiens et, de ce fait les rendent plus vulnérables aux agents pathogènes.

L'atrazine à des concentrations dépassent 0.1 µg/L pourrait engendrer des cas d'hermaphrodisme chez les amphibiens du à des effets perturbateurs endocriniens Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006)

II-4-6/ Les effets sur les poissons :

Au niveau de l'impact des pesticides, Gendron et Branchand ont posé l'hypothèse que la présence épisodique de contamination dans l'eau par les pesticides au cours des derniers stades de maturation et de libération des gamètes pourrait contribuer aux difficultés de reproduction de chevalier cuivré (Gedron et Branchand., 1997). Indique qu'une concentration de 5 µg/L d'atrazine peut diminuer le comportement de regroupement des poissons comme le carassin doré (Carassins auratus) (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006)

Une autre étude a aussi démontré que des activités enzymatiques impliquées dans la synthèse d'hormones, peuvent être sensibles a la présence de pesticides, le métabolisme énergétique peut également être une cible des pesticides (Monod., 1998).

II-4-7/ Les effets sur les mammifères :

L'autopsie d'éléphants retrouvés morts dans le parc national de namere en Inde a révèle la présence de dimecron dans les carcasses (édition terre vivante., 2002).

Les phoques, baleines, et dauphins, au sommet de la pyramide alimentaire sont généralement très contaminés, il en va de même pour certains prédateurs terrestres dont la baisse de fertilité a été observée (pumas de Floride) (édition terre vivante., 2002).

A la fin des années 60, plusieurs travaux on rapporté divers effets tératogènes et des troubles la reproduction chez le chien avec le carbaryl. Un premier fait, repris de l'excellent ouvrage a Aubert (1977) et qui garde sa valeur exemplaire malgré quelque rares progrès enregistrés ici ou la, est démonstratif le lait de vache de consommation courant contenue à contenir à doses variables de résidus d'herbicides et pesticides organochlorés (aldrine, dieldrine, hexachlorobenzene, HCH, heptchlores, lindane), ou organophosphorés, ces produits absorbés par la mère, se retrouvent toujours dans le lait maternel a plus grande concentration bien entendu en application de la loi des concentration, ces valeurs sont pour certains, quatre fois supérieurs aux dose journalières maximale jugées admissibles par l'OMS (Neger, 1990).

II-4-8/ Les effets sur les reptiles :

L'auteur de «L'homme en voie de disparition» a mis en évidence la déficience des organes sexuels des alligators du lac Apopka (Floride) qui fut longtemps pollué par un insecticide (édition terre vivante., 2004).

II-4-9/ Les effets sur les flores :

A l'évidence, les herbicides sont les produits les plus nocifs pour les plantes non cultivées. Mais la microflore est aussi atteinte et dans certaines zones, on peut suspecter un lien décause a effet entre l'utilisation des pesticides et, par exemple, la disparition de lichens, les pesticides auraient également une responsabilité dans le dépérissement forestier: pour Hartmut Frank écotoxicologue de l'université de Tübingen, les sols des parcelles les plus touchées présentent de fortes Concentration en trichloroacideacétique, jusqu'à 0.4 mg/m^3 su des zones où il n'a jamais été appliqué. (édition terre vivante., 2002)

II-5/ les effets des pesticides sur la santé humaine :

Les pesticides sont impliqués dans de nombreuses intoxications aiguës ou subaiguës accidentelles dont les symptômes sont connus. Les professionnels: fabricants, utilisateurs, subissent des intoxications chroniques. Les règles d'utilisation doivent donc être rigoureusement respectées.

La toxicité à long terme des pesticides est fonction de facteurs intrinsèques: âge, état du sujet et extrinsèques: niveau nutritionnel, pollution de l'environnement. Les effets à long terme font l'objet d'études portant sur la mutagénicité, la tératogénicité et la concérogénicité.

Mais globalement, à court terme les insecticides ont pu limiter certaines maladies transmises par les insectes. (Guy et Elisabeth., 2001).

II-5-1/ Les professionnels :

Les différentes conditions d'application créent des cas particuliers. Ainsi, par exemple, pour le houblon cultivé sur des perches de plusieurs mètres de haut, il est obligatoire de pulvériser en l'air. Le produit adhère moins bien et l'ouvrier chargé de la besogne est dans le nuage pesticide.

Les agriculteurs utilisent parfois des doses largement supérieure à ce que était autrefois nécessaire. Certains produits sont normalement interdits, mais utilisée par dérogation.

La mutualité sociale agricole (MSA) analyse les cas déclarés auprès de la médecine du travail. Un manipulateur de produits phytosanitaires sur six est incommodé par leur utilisation. Les produits en cause sont par ordre d'importance:

- des fongicides (32 % des cas).
- des insecticides (30 % des cas).
- des herbicides (19 % des cas).

13% des agriculteurs recensés dans une banque de données spécialisé indiquent avoir été hospitalisés après une utilisation de pesticides et 27% d'entre eux ont dû avoir en arrêt de travail (édition terre vivante., 2002).

II-5-2/ Les citoyens :

On a tendance à croire que les personnes utilisant des pesticides sont concernées. Pourtant des études, notamment canadiennes, démontrent que les personnes qui habitent à proximité de vergers traités voient le taux de pesticides dans leurs urines augmenter après épandages, alors qu'ils ne sont pas allés sur zone et n'ont pas été en contact avec les fruits traités. On peut donc en conclure que la contamination s'est effectuée par l'air, via les poumons et/ou la peau. Sachant que les polluants circulent dans l'atmosphère quelle que soit notre zone de résidence, il est impossible de soustraire, ainsi, par la respiration les pesticides en suspension dans l'air pénètrent dans les poumons.

L'alimentation contribue également aux apports en pesticides pour les humains avec:

- L'eau de boisson qui peut en contenir.
- les aliments au travers des fruits et des légumes ingérés (édition terre vivantes).

La présence des pesticides dans les fruits et légumes n'est pas la règle. Une étude de la direction de la santé de la commission européenne publiée en avril 2003 en comptabilisé 59 % n'en présentant aucune trace et 37 % présentant des résidus inférieure aux limites maximales nationales ou européennes. Mais 4 % sont en infraction par rapport à ces regèles aucune tendance clavier n'apparaît sur l'évolution de cette situation (Ngô *et al.,* 2004).

A cela s'ajoute les pesticides employés dans la maison, parfois à l'insu des utilisateurs, comme par exemple lors de traitement antipoux. Ceux-ci ont découvert que le malathion un pesticide organophosphoré utilisé dans les traitements antipoux passe en quantité importante dans l'organisme des enfants. Des analyses ont mis en avant dans les urines des enfant concernés, la présence du pesticide sous forme de résidus, à des taux de 5 à 10 fois plus élevés que les doses maximales autorisées chez les professionnels les enfants sont également exposés aux pesticides sur les aires de jeux, pour lesquels il y a un contact direct (édition terre vivante., 2002).

II-5-3/ La toxicité aiguë :

Les risques pour la santé humaine en cas d'exposition aiguë à des doses élevées de pesticides, par exemple lors du mélange, sont connus de longue date et ont conduit à la publication de recommandations aux utilisateurs de manière à éviter ces risques. De fait, les pesticides peuvent être absorbés par inhalation par ingestion via l'alimentation et par contact cutané. Les effets liés à une intoxication aiguë, se produisent généralement tout de suite ou peu de temps après une exposition significative à des pesticides, les malaises généraux peuvent être légers (maux de tête, nausées, étourdissements, fatigue perte d'appétit, irritations de la peau et des yeux), ou graves (fatigue chronique, coma, mort). Les symptômes varient selon les types de pesticides en cause (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006)

a/ Organochlorées cycliques : Après absorption de quantités importantes, les composés Organochlorées cyclique manifestent un effet neurotoxique et montrent tous des symptômes d'intoxication identique: paresthésies de la langer des lèvres, de certaines parties du visage et éventuellement dans extrémités, vertiges, étourdissement, maux de tête. Après absorption de très forts doses, il apparaît un état d'agitation, des convulsions (à partir d'environ 16 mg DDT/kg de poids du corps), des vomissements, une mydriase et une perte de connaissance (après quelques heurs), le panel des signes cliniques d'intoxication peut se compliquer à cause des impuretés contenues dans les produits technique et dans les additifs présents dans les formulations des produits commerciaux (par exemple cas des Solvants). Chez l'homme, la toxicité aiguë des diènes (DL (orale)), environ 0.03 à 0.07 g/kg du poids du corps), est plus élevé que celle du HCH (DL (orale)), environ 0.15 à 0.9 g/ kg du poids du corps, et de DDT (DL (orale)), 0.1 à 1 g/kg du poids du corps. La toxicité aiguë du HCB est très faible (DL_{50} (orale)) 1 à 10 g/kg du poids du corps. Aucun affection n'étant rapportée chez l'homme (Jochen *et al.,* 2004).

b/ Pentachlorophénol (PCP) : A des doses extrêmement élevées, le PCP freine le métabolisme énergique de la cellule (découplage de la phosphorylation oxydative), ce qui aboutit à une hyperventilation, à un tachycardie, à des sueurs, à la sensation de soif et à une faiblesse musculaire (DL (orale) > 30 mg/kg du poids du corps) (Jochen *et al.,* 2004).

c/ Organophosphatés : Sont facilement absorbés par vois orale respiratoire et cutanée (Taux sanguin maximum 1h environ après une absorption orale). Ils se répartissent rapidement dans tous les organes et tissu.

Les effets muscariniques: (aux terminaisons nerveuses parasympathiques). Prévalent mais mettent, cependant que rarement la vie en danger, nausées (sans vomissement), anorexie, coliques, sueurs, salivation, larmoiement. Lors d'une exposition plus forte, il se manifeste des diarrhées, un ténesme, une incontinence rectale et urinaire, une pâleur cutanée, un myosis, une vision floue, une hypersécrétion bronchique, une dyspnée asthmatique, un oedème pulmonaire avec cyanose. Lors d'une évolution ultérieure, des effets nicotiniques (ganglions végétatifs, plaque terminales, neuromusculaires), se manifestent en priorité faxiculations, d'abord des paupières et des muscles de la langue en suite des muscles du visage, du cou et des yeux (mouvement

saccadés des globes oculaires), suivies finalement par des convulsions et une hypotonie généralisée (Jochen *et al.,* 2004).

Premiers effets sur le système nerveux central : malaise, hyperagitation anxiété; suivis de violentes céphalées et d'insomnie. Dans le cas d'intoxications plus graves, on note une ataxie des tremblements, des troubles de la concentration, une confusion mental, un coma, une aréflexie, des contractures généralisées (Jochen *et al.,* 2004).

Danger principales : perturbations graves des fonctions respiratoires car l'échange alvéolaire est limité par un encombrement bronchique important; le risque de bronchospasme allant jusqu'à l'arrêt respiratoire est majeur si l'absorption est orale, l'évolution est le plus souvent fulgurante (mort possible en quelques minutes). L'absorption transcutanée a des conséquences retardées. En cas d'inhalation les troubles respiratoires sont particulièrement intenses (Jochen *et al.,* 2004).

d/ Carbamates : Les carbamates sont absorbés par voie orale (> 90%) par inhalation (en aspirant des aérosols ou des poussières) et par voie cutanée.

Ils sont rapidement métabolisés et éliminés de façon complète. Les symptômes sont en principe les mêmes que dans le cas d'une intoxication aux orgamophosphatés, cependant, ils disparaissent beaucoup plus vite et les cas de décès sont beaucoup plus rares (Jochen *et a.,* 2004).

e/ Pyréthrinoïdes : L'organe cible de la toxicité est le système nerveux (influence sur les canaux Na^+). En expérimentation animale, on distingue entre ce qu'on appelle la « symptomatologieT» des Pyréthrinoïdes du type I et la « symptomatologie CS » des Pyréthrinoïdes du type II. Chez l'homme, il n'y a eu que quelques rares cas d'intoxications aiguës lors de manipulations inappropriées. Après une absorption orale (accidentelle par le biais d'aliments contaminées ou à son poste de travail des symptômes gastro-intestinaux se sont manifestées dans les 10-60 minute qui ont suivi (nausées, vomissement, diarrhées). Dans des cas grave, dans des signes cliniques concernant le système nerveux central (troubles de la conscience, convulsion) se sont intensifiés suite à l'absorption. En général, les symptômes avaient disparu après quelques jours, on n'a pas constaté des lésions permanentes des nerfs. Après un contact direct avec la peau (produit non déluré, surfaces fortement polluées) des paresthésies locales (fourmillements, sensations de brûlure, démangeaisons) peuvent se manifester avec un temps de latence allant de quelques minutes jusqu'à plusieurs heures. Elles sont attribuées à une irritation locale des terminaisons nerveuses sensibles de la peau; elles persistent à peu prés 24 H et sont réversibles. A coté, on a observé des irritations des muqueuses; des voies respiratoires et des yeux, des étourdissements et des céphalées. Il existe des différences marques entre les individus; les enfants sont plus fortement réceptifs que les adultes en cas d'exposition dermique à cause de la plus grande sensibilité de leur peau (Jochen *et al.,* 2004).

f/ Dithiocarbamates : Les dithiocarbamates montrent une faible toxicité aiguë vis-à-vis des hommes, des intoxications systématiques n'ont presque jamais lieu dans le traitement des plantes et sur tout dans l'industrie du caoutchouc. On a observé des effets irritants

locaux pour la peau et les muqueuses ainsi que des dermatites de contact allergique par le biais de l'inhibition de l'alcool et particulièrement et l'acétaldéhydedéhydrogénase; les

dérivés dialkylés entraînent un ralentissement de la dégradation de l'éthanol et une intolérance vis-à-vis de l'alcool (effet antabuse). De se fait, immédiatement après l'absorption d'alcool, il est noté l'apparition de nausées, de vomissement, d'un augmentation de la fréquence respiratoire et cardiaque d'une élévation ou d'une diminution de la tension artérielles allant jusqu'au collapsus cardio-vasculaire qui peut être mortel (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006).

II-5-4/ La toxicité chronique :

La toxicité chronique est, quant à elle, nettement moins bien connue et beaucoup plus difficile à mettre en évidence. Elle peut être associée à une absorption de faibles quantités de pesticides présents dans différents milieux sur une longue période de temps. Elle peut provoquer différents problèmes de santé: cancers, problème de respiration et de développement: affaiblissement du système immunitaire, troubles hormonaux et neurologique(Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006).

a/ **Organochlorés cycliques :** En cas d'exposition professionnelle intense au DDT (>0.25 mg/kg du poids du corps pendant des années) on observe une induction enzymatique hépatique microsomale assortie d'un métabolisme accélère à caractère oxydatif de substances étrangères une intoxication épidémique au HCB, qui a eu lieu en Turquie, par des pains provenant de semences traitées s'est manifeste sous forme d'une porphyrie cutané tardive et d'un photosensibilisation.

Dans l'expérimentation animale, on a constaté des effets toxiques sur la reproduction (DDT), ainsi que des propriétés d'induction tumorale (HCH), qui n'ont pas été confirmés chez l'homme par les enquêtes épidémiologiques (même chez les sujets particulièrement exposés par leur profession) (Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs., 2006).

b/ Pentachlorophénol (PCP) : En cas d'exposition chronique professionnelles, irritation cutanée et des muqueuses, névralgies, myocardite toxique, perturbation des fonctions hépatiques et rénales et altération de l'hémogramme (leucocytose, éosinophilie). Le syndrome des agents xyloprotecteurs correspond à une forme clinique qui est en relation avec une exposition chronique au PCP, mais aussi à d'autres composés contenus dans les produits de préservation du bois (le lindane). La symptomatologie est mise sur les perturbations de l'état de santé, cependant, une multitude d'autre symptômes sont rapportés, entre autres dans le domaine de la médecine interne, de la dermatologie, de l'ORL et de la neurologie. Jusqu'à aujourd'hui, aucune relation de cause à effet lors d'une exposition au PCP et a d'autres constituants des produits xyloprotecteurs n'a pu être certifiée, malgré de larges études menées aussi auprès de groupes d'individus particulièrement sensibles comme les écoliers et les enfants d'école maternelle (Jochen *et al.*, 2004).

c/ Organophosphates : Lors d'une absorption ne répétée de faibles quantités on observe des effets additifs, mais aussi des effets d'accoutumances : diminution de 70 % de l'activité de l'ACHE Érythrocytaire avant exposition.

Neuropathie retardée pour certains dérives (par ex: le dichlorvos), elle se manifeste avec une latence de 1 à 4 semaines (sans manifestation aiguë). Aux paresthésies initiales, font suite des paralysies d'apparition progressive d'abord flasques, puis spastiques des extrémités. Le tronc cérébral, les nerfs crâniens, les vois de la sensibilité sont moins touchés. L'action toxicologique des organophosphorés à pour origine inhibition de l'acétylcholinestérase entraînent une accumulation d'acétylcholine au des symptômes nicotiniques et muscariniques. Certains organophosphorés inhiberaient de manière irréversible une estérase particulière (neuropathie Target estérase ou NTE) qui est présente dans les cellules des nerfs périphériques et du système nerveux central. La récupération est souvent incomplète (Jochen *et al.,* 2004).

d/ Pyréthrinoîdes : La question de la bioaccumulation dans le tissu nerveux et des effets neurotoxiques irréversibles a fait l'objet de discussions controversées. L'origine de cette controverse a été une étude d'expérimentation animale dont les résultats n'ont cependant pas pu être confirmés chez des personnes qui avaient subi une exposition de longue

durée, on n'a pas observé de lésions chroniques d'organes. En expérimentation animale, les Pyréthrinoîdes n'ont montré ni d'effets pour la reproduction ni d'effets embryotoxiques ou tératogènes, les résultats expérimentaux concernant les potentialités mutagène, cancérogène et immunotoxique se révèlent en partie contradictoires et il n'existe aucun indication montrant de tels effets chez l'homme (Jochen *et al.,* 2004).

e/ Dithiocarbamates : Concernant les effets chronico-toxiques chez les individus qui ont été exposés pendant de longues années en raison de leur métier, aucune conclusion sûre ne être tirée. Des testes de mutagénicité se sont avérés le plus souvent négatifs. Dans expérimentation animale, des doses élevées du métabolite: éthylène-thiourée (>60 mg/kg de nourriture) ont entraîne la formation de carcinomes de la glande thyroîde. Ce pendant, chez les personnes exposées, aucun risque élevé de formation de carcinome n'a été observé (Jochen *et al .,* 2004).

f/ Dérives du bipyridinium :

Toxicité aiguë et chronique : des accidents et des suicides ont conduit, en peu d'années, à plusieurs certaines de cas mortels. Apres un temps de latence caractéristique (allant de quelque heures à 2 jours), le contact localisé entraîne des réactions cutanée peu douloureuses (érythème, ulcères, altérations des ongles) ou de la partie externe de l'œil

(Éventuellement des ulcères profond mal guéris laissant des cicatrices de longue durée). En cas d'absorption par inhalation des irritations et des inflammations des voies respiratoires, allant jusqu'à l'œdème pulmonaire toxique est possible. Au cours d'une intoxication orale on distingue trois phases typiques.

Première phase : après des vomissements et une phase de latence à symptomatologie pauvre (plusieurs heurs), la muqueuse du tube digestif est endommagée (gastro-entérite, ulcère) ;

Deuxième phase : il s'en suit une néphrite d'origine toxique avec insuffisance rénale (allant jusqu'à l'anurie), régressant après 5-10 jours. Celle-ci peut être accompagnée d'un atteinte hépatique (nécroses cellulaires avec cholestérol, ictère) et de signes cliniques neurologiques (céphalées, vertiges, plus rarement convulsions et un coma) et d'une anémie noronochrome à évolution rapide (également de rares troubles du rythme cardiaque).

Troisième phase : après environ 10 jours il se manifeste une fibrose pulmonaire, qui progresse rapidement de graves alvéolites et bronchiolites obstructives conduisent à une insuffisance respiratoire mortelle (Jochen *et al* ., 2004).

II-5-5/ les victimes des pesticides :

La coalition pour les alternatives aux pesticides à été crée à Montréal en décembre 1999 pour unir les effets d'une poignée de personnes et d'organismes préoccupés par l'usage abusif des pesticides au Québec. Nos membres les plus actifs sont des personnes ayant souffrent de prés ou de loin d'un contact avec des pesticides.

• Par exemple Jean- Dominique à été atteint d'un lymphome non- hodgkinien à l'âge de 7 ans. Pendant son hospitalisation, il s'est aperçu qu'il y a un avait plusieurs enfants de son quartier en oncologie. En suite, il tombe sur un dépliant de l'American cancer society et découvre qu'il y à un lien entre son type de cancer et l'apparition d'herbicide 2.4D .or, ses parents appliquaient ces pesticides 4 fois l'an sur leur pelouse et il y a terrains golfs sa municipalité (édition terre vivante., 2002).

• En 1993, toute la famille de Michel a été exposée à des pesticides. Sa femme, la plus atteinte, est tombée gravement malade du jour au lendemain: fatigue intense, douleurs abdominales, difficultés à respirer, sang dans les urines, etc. les enfants adolescents avaient des problèmes à se concentrer à l'école ainsi que des problèmes d'audition et de vision. Michel lui-même avait des symptômes semblables mais à un degré moindre. Une analyse de sang a révèle d'importantes quantités de pesticides organochlorés dans leur sang, mais le corps médical ne pouvait rien faire pour eux. Il sont tous hypersensibles aux produits chimique aujourd'hui et vivent un enfer quotidien (édition terre vivante., 2002).

• Le petit garçon d'Olga est hypersensible depuis sa naissante. Il est allergique arachide, œufs, produits laitiers, bœuf, blé, soya, etc. Olga utilisait des pesticides dans son jardin pendant sa grossesse. Le nombre de membres de l'association des allergies alimentaires du Québec est passé de 60 à plus de 800 en 6 ans. Nos écoles sont remplies de ces cas inexplicables d'allergies, d'asthme, d'enfants hyperactifs, et le nombre ne cesse d'augmentation de façon exponentielle (édition terre vivante., 2002).

• Bernard est tombé malade après que des pesticides aient été appliqués dans son bureau. Il a dû quitter son emploi car il souffre de façon chronique de brûlures à la gorge et à la poitrine, saignements de nez, étourdissements, pertes de mémoire, problèmes de concentration etc. (édition terre vivante., 2002).

II-5-6/ La résistance :

Les pesticides sont également à l'origine de transformations évolutives rapides des espèces- cibles, avec l'apparition des formes résistantes. C'est un phénomène identique à la pharmaco-résistance des souches microbiennes (Eugéne., 2002). L'évolution de la résistance représente probablement le plus grand problème de tous la résistance des pesticides fournit quelques-uns des meilleurs exemples de l'évolution en action, fournissant des démonstrations claires de l'impact de l'intense sélection naturelle dans les populations, A l'intérieur d'une grande population soumise aux pesticides, quelques génotypes peuvent inhabituellement être résistants. La résistance pourra s'étendre très rapidement, spécialement si la majorité de la population est exposée et si l'insecticide est réappliqué régulièrement (contrôle des nuisibles).

Les individus résistants (partiellement) ont une meilleure chance de survie et de reproduction, et si l'insecticide est appliqué de façon répétitive, chaque génération comprendra une plus grande proportion d'individus résistants. Les mutations ultérieures peuvent accroître même davantage la résistance. Ce processus a conduit à une augmentation exponentielle du nombre des espèces d'insectes résistantes aux insecticides, puisque maintenant le total est supérieur à 500 plus, des résistances croisées peuvent se

produire quand des espèces résistant à un pesticide fournissent la résistance à une autre, par ce que le mode d'action est commun aux deux.

Une solution au problème de la résistance aux pesticides est de développer des stratégies de gestion de résistance. L'utilisation des pesticides à des concentrations suffisamment fortes pour tuer les individus hétérozygotes charraint seulement une copie de la résistance au gène.

Une réponse commune à la résistance a été l'application de plus de pesticides, ce qu'a entraîné davantage de résistances et le cycle continu. En dépit de la résistance au pesticides la production et les ventes de pesticides ont continue à croître (Aulay et *al.*,2000).

De nombreuses souches d'insectes, bactéries et champignons sont devenues résistantes aux pesticides destinés à les contrôles, sur 2 000 espèces d'insectes considérés comme très nuisibles, environ un quart ont déjà produit des souches résistantes à un ou plusieurs insecticides. De même, plusieurs espèces de mauvaises herbes sont devenues résistantes aux herbicides (Peter *et al.*, 2000).

Exemple : il est par ailleurs assez facile de sélectionner des souches de champignons résistantes à une famille de fongicides : par exemple des *Trichoderma* résistants aux benzimidazoles (Pierre., 1996).

Chapitre III

La biodégradation des pesticides

III-1 Introduction:

L'activité microbienne des sols ne semble pas être affectée de manière drastique par les apports de pesticides aux doses préconisées. Cependant, des interactions entre ces produits chimique et les micro-organismes sont susceptibles, soit de diminuer, soit d'augmenter leurs capacités dégradantes, malgré ces perturbations possibles, pour la plupart des autres, la dégradation des pesticides dans les sols est réalisée essentiellement par des processus impliquant les micro-organismes; ce qui confère au sol un pouvoir de détoxication particulièrement élevé (Barruiso et *al.*, 1997).

III-2- Définition:

Biodégrabilité (bio = la vie) et biodégradable, tout substance (solide ou liquide) qui, sous l'action des micro-organismes vivant dans le sol (bactéries, enzymes ...) est transformée en éléments naturels de base: dioxyde de carbone, eau et sels minéraux.

Concernant les matières actives elles sont toutes biodégradables, reste à évaluer en combien de temps (Maison de consommation et de environnement., 2003).

III-3- Généralités:

Au cours du processus de dégradation, la molécule mère peut se transformer en une ou plusieurs «molécules filles»: les métabolites Ainsi, au cours de son processus de dégradation, le glyphosate (molécule de désherbant total) se transforme en AMPA et l'atrazine se transforme en désthylatrazine et en isopropylatrazine. La toxicité des métabolites d'une molécule n'est pas prévisible. Pour l'évaluer, il faut recourir aux mêmes tests que ceux réalisés pour la molécule même.

Temps de dégradation/rémanence/ demi-vie. Pour évaluer le temps de dégradation (la rémanence d'un métier active ou d'un métabolite on calcule la demi-vie de cette molécule (DT50), c'est le temps que mettront les bactéries et les micro-organismes du sol pour dégrader la moitié de la dose de métier appliqué.

Cette demi-vie se calcule «en laboratoire», ou pour approcher plus efficacement les conditions réelles, «au champ» (Maison de la consommation et de l'environnement., 2003).

III-4- Importance et diversité des micro-organismes:

La dégradation des pesticides présents dans le sol est le fait de micro-organismes de toutes sortes (Actinomycètes, bactérie, champignon). La plupart du temps elles n'est possible que grâce à la complémentarité enzymatique de plusieurs souches microbiennes qui individuellement sont incapables d'utiliser le produit comme source nutritive. Aussi, du fait de leur diversité et de leur complémentarité, les espèces dégradantes ont un rôle

fonctionnel, permettant d'assurer une certaine permanence de la dégradation biologique des pesticides quelles que soient les structures chimiques et les conditions de milieu. Cependant, l'efficacité de la dégradation varie avec les espèces microbiennes dans des proportions très importantes (Soulas., 1991). Même si les champignons ou les Actinomycètes peuvent être très efficaces dans la dégradation de certaines structures chimiques, on peut considérer que les bactéries ont une plus grande faculté d'adaptation dans les catabolismes des pesticides malgré des disparités entre les espèces (Soulas., 1993). De plus la possibilité d'un échange de matériel génétique entre souches appartenant à des genres différents impliqués dans le processus de dégradation, conduit à l'émergence de nouvelles souches dégradantes (Rousseaux., 2001).

Leur grande diversité et la multiplication des conditions de leur développement font qu'ils sont de puissants agents de dégradation des pesticides.

La composition de la microflore est très variable selon la nature des sols, leur pH, les teneurs en carbone organique et en minéraux argileux. La taille de la biomasse microbienne est elle aussi très variable en fonction des mêmes facteurs.

Elle est en moyenne de 200 mg/kg dans les sols sableux pauvres en matière organique et peut atteindre de l'ordre 900 mg/ kg dans les sols riches (teneurs en C supérieurs à 4%).

L'aspect fondamental de la dégradation due aux micro-organismes est la catalyse des réactions chimiques par des enzymes; cela nécessite que les pesticides soient à l'état dissous dans la phase liquide du sol, on peut distinguer deux situations:

- Les réactions biochimiques catalysées par des enzymes intracellulaires; les pesticides doivent d'abord être absorbés pour être transformés.

- Les réactions chimiques catalysées par des enzymes extracellulaires; l'absorption des pesticides n'est pas nécessaire (Raoul *et al.*, 2005).

III-5- Mécanismes microbiens de la dégradation biotique:

Les micro-organismes peuvent être impliqués dans la dégradation des pesticides selon cinq mécanismes d'action :

- **Le métabolisme direct :** qui fait des pesticides une source d'énergie utilisée pour la croissance des micro-organismes.

- **Le cométabolisme:** il s'agit de transformations chimiques des pesticides mais ils ne sont pas une source d'énergie pour les micro-organismes.

- **La conjugaison:** ce sont des réactions chimiques, catalysées par des enzymes exocellulaires, entre les pesticides et d'autre pesticides ou d'autre molécules dans la solution du sol.

- **L'accumulation:** les pesticides ou leurs métabolites sont stockés dans les corps microbiens; il s'agit la probablement d'une des cause de la stabilisation ;
- Les effets secondaires dus à l'activité des micro-organismes qui peuvent entraîner des modifications de l'environnement chimique (consommation d'oxygène, production de composés organiques), et de l'environnement physicochimique (pH) qui facilitent ou limitent les transformations chimiques des pesticides. Ils sont un des facteurs intervenant dans la dégradation.

Les trois premiers mécanismes conduisent à des modifications de la composition et de la structure chimiques des pesticides et peuvent être véritablement considérés comme étant directement à l'origine de la dégradation. C'est à ces trois mécanismes que l'on se référera en parlant des mécanismes de la dégradation microbienne. Les deux derniers doivent plutôt être vus comme des processus certains liés aux micro-organismes, mais probablement pas impliqués directement dans la dégradation des pesticides. Une caractéristique fondamentale, au moins pour les trois premiers est l'intervention des systèmes enzymatiques (Raoul *et al.*, 2005).

III-5-1. Les facteurs intervenant sur la biodégradation:

Tous facteurs favorables au développement des micro-organismes contribueront à une dégradation plus rapide des pesticides. Dans ce contexte, les variables qui déterminent la vitesse et les voies de dégradation d'un pesticide dans le sol sont multiples.

* La structure chimique du pesticide et par voie de conséquence, ses propriétés physicochimiques sont largement responsables de son devenir après application. Elles déterminent en particulier sa toxicité intrinsèque (activité d'un pesticide contre les cellules ou les enzymes capables de le dégrades), sa valeur nutritive pour les micro-organismes, l'énergie nécessaire pour rompre les laissons et donc sa biodégradabilité (Catherine *et al.*, 2005).

* Les relations structure biodégradabilité sont d'une manière générale mal connues, excepté pour certaines catégories de pesticides comme par exemple les acides phénoxyacétiques. En effet à l'intérieur d'une même intensité; de petites modifications au niveau structural peuvent provoquer des changements significatifs ou même drastiques dans les taux de biodégradation. Mais, bien que certains pesticides puissent persister jusqu'à plusieurs années dans le milieu, aucun n'est absolument stable.

* Le taux de biodégradation d'un pesticide est influencé par la mobilité de la matière active et la quantité d'eau disponible dans le sol, car tous deux ont pour conséquence d'augmenter la probabilité de contact entre le produit chimique et les enzymes ou les micro-organismes capables de le dégrader.

* La concentration en pesticides dans le milieu n'est pas sans influence, un produit peut être métabolisé à une concentration et co-métabolisé à une autre, mais la concentration peut également influencer sur la cinétique de dégradation.

* L'effet du type de sol sur la biodégradation d'un pesticide n'est pas aisé. D'une manière générale, le processus de biodégradation est plus intense dans un sol lourd (riche en argiles), que dans un pH acide et d'une activité microbienne plus faible. La biodégradation dépend de l'équilibre entre l'effet du pH qui influe sur la taille et la diversité des populations microbiennes et celui des teneurs en argile et matière organique dont dépendent pour partie la rétention et la biodisponibilité.

* Selon la matière active, le pH peut augmenter ou diminuer le taux de dégradation par voie abiotique, il a été montré que des herbicides comme la simazine ou l'atrazine sont dégradés plus rapidement dans un sol à pH acide alors que pour d'autres, telle que la métribuzéne, on observe une diminution de la biodégradation, voir une stabilisation pour un produit comme la napropamide.

* La température et l'humidité n'agissent pas de façon indépendante. Ils soulignent qu'une augmentation de la température s'accompagne généralement d'une diminution de la teneur en eau. La limitation d'un des deux facteurs entraîne une diminution de la dégradation.

* La teneur en eau du sol est un paramètre essentiel au maintien de l'activité dégradante microbienne. Elle agit comme un solvant des pesticides et un transporteur des éléments nutritifs à l'intérieur des cellules. Une augmentation du contenu en eau d'un sol traité entraîne le plus souvent une augmentation de la dégradation du pesticide. Ainsi, la demi-vie dans un sol à 6% d'humidité est deux à quatre fois plus longue qu'à 15% d'humidité. Toute fois, ce phénomène n'intervient que jusqu'à un certain niveau au-dessus duquel le contenu en eau du sol ralenti, voire inhibe totalement, la dégradation de la matière active. En occupant l'espèce porale, l'eau peut restreindre le renouvellement de l'oxygène de l'atmosphère du sol, créant ainsi des conditions de milieu anaérobie défavorables à la dégradation d'un grand nombre des pesticides (Catherine *et al.*, 2005).

III-5-2. Les trois mécanismes microbiens de la dégradation:

a/ Le métabolisme direct:

1/ Définition:

Les micro-organismes ont besoin d'éléments nutritifs (C, N, P, S, élément en traces), d'eau et d'énergie pour leur croissance et le maintien de leur activité, d'un point de vue biochimique, en l'absence d'adsorption d'énergie lumineuse, la production d'énergie résulte d'échanges d'électrons entre des donneurs d'électrons (composés organiques et inorganiques oxydables), et des accepteurs d'électrons (oxygène moléculaire, nitrates, sulfates, composés ferriques et composés organiques). Beaucoup de pesticides peuvent être des sources d'éléments et d'énergie pour des micro-organismes par la mise en œuvre de diverses réactions chimiques cataboliques et catalysées par des enzymes. Des micro-organismes dont la plupart sont des bactéries, sont capables d'effectuer la totalité des réactions chimiques, de la molécule initiale aux molécules inorganiques finales. D'autres, cependant, ne peuvent effectuer qu'une partie des transformations, ce qui nécessite l'intervention de plusieurs espèces pour obtenir la minéralisation, chacun d'entre elles

utilisant les transformations chimiques successives comme sources d'élément et d'énergie, on parle de «consortium» de micro-organisme; le rôle bénéfique d'un consortium dans la dégradation n'est pas seulement dû à la présence de toutes les enzymes nécessaires à la dégradation; il peut aussi résulter d'échanges de nutriments et de l'élimination de substance inhibitrices des micro-organismes dégradants. Beaucoup de pesticides appartenant à diverses familles chimiques peuvent être minéralisés. Ils le sont cependant plus ou moins facilement selon la nature de leurs groupes fonctionnels. Mais aussi selon l'équipement enzymatique des micro-organismes. Ces réactions conduisent à la formation des molécules inorganiques (dioxyde de carbone, ammoniac, eau, anions sulfates et phosphates) et sont à l'origine de la complète destruction des pesticides, d'où la grande importance du processus de minéralisation pour leur élimination des milieux naturels. La production de CO_2 est d'ailleurs mise à profit expérimentalement pour étudier la minéralisation en utilisant des molécules marquées avec C^{14} (Raoul *et al.*, 2005).

2/ **Caractéristiques générales:**

Le métabolisme direct est la conséquence de l'utilisation des pesticides comme source d'énergie. Il a fait l'objet de nombreux travaux rapportés dans plusieurs publications (Bollag et Lui., 1990). Elles possèdent des caractères généraux qui ont été énoncés par au dus sur la base d'observations effectuées à propos de la minéralisation des acides phénoxyalcanoiques:

- La cinétique présente une phase de latence précédant une phase de minéralisation rapide.
- L'application ultérieure de pesticide fait disparaître la phase de latence ;
- Il est possible de transférer la capacité de minéraliser un sol traité à un sol non traité.
- Un sol où se produit la minéralisation contient des bactéries spécifiques capables de l'effectuer.
- La vitesse de minéralisation est accrue par des applications successives (Raoul., 2005).

❖ **Les groupes favorisant la minéralisation sont:**

- Les composés contenant les groupes hydrolysables: les groupes esters d'acides carboxyliques, amides et anhydrides d'ester acides phosphoriques sont rapidement dégradés.

- Les groupes hydroxyle, formyle et carboxyle confèrent aussi une grande biodégradabilité, moindre cependant que les précédents.

- La minéralisation des composés contenant tous ces groupes fonctionnels a lieu en milieux aérobies (Raoul., 2005).

❖ **Les groupes non favorisant par la minéralisation:**

- Les halogènes et le groupe nitro, particulièrement dans les structures aromatiques.
- Les carbones quaternaires et les azotes tertiaires (Raoul., 2005)

b/ Le cométabolisme:

Le cométabolisme est un processus au cours duquel des micro-organismes assurent leur maintenance et leur multiplication aux dépend d'un substrat organique tout en dégradant des pesticides sans que ceux-ci soient pour eux une source d'énergie et d'éléments nutritifs. Ils s'agit d'un «métabolisme fortuit» dont les réactions initiales sont catalysées par des enzymes peu spécifiques, ce mécanisme de dégradation a été décrit pour la première fois par Leadbetter et Foster en 1959 et a été désigné par le mot cométabolisme par Jensen en 1963. Le cométabolisme ne conduit pas, généralement, à une dégradation très poussée des pesticides, quand une seule souche est concernée et produit des métabolites qui sont des molécules plus au moins transformés comparées à la molécule initiale de pesticide. En revanche, il est possible que plusieurs souches interviennent en séquences pour accomplir la dégradation et produite des métabolites, voire même en utiliser certains comme substrats énergétiques et les minéraliser (Raoul., 2005).

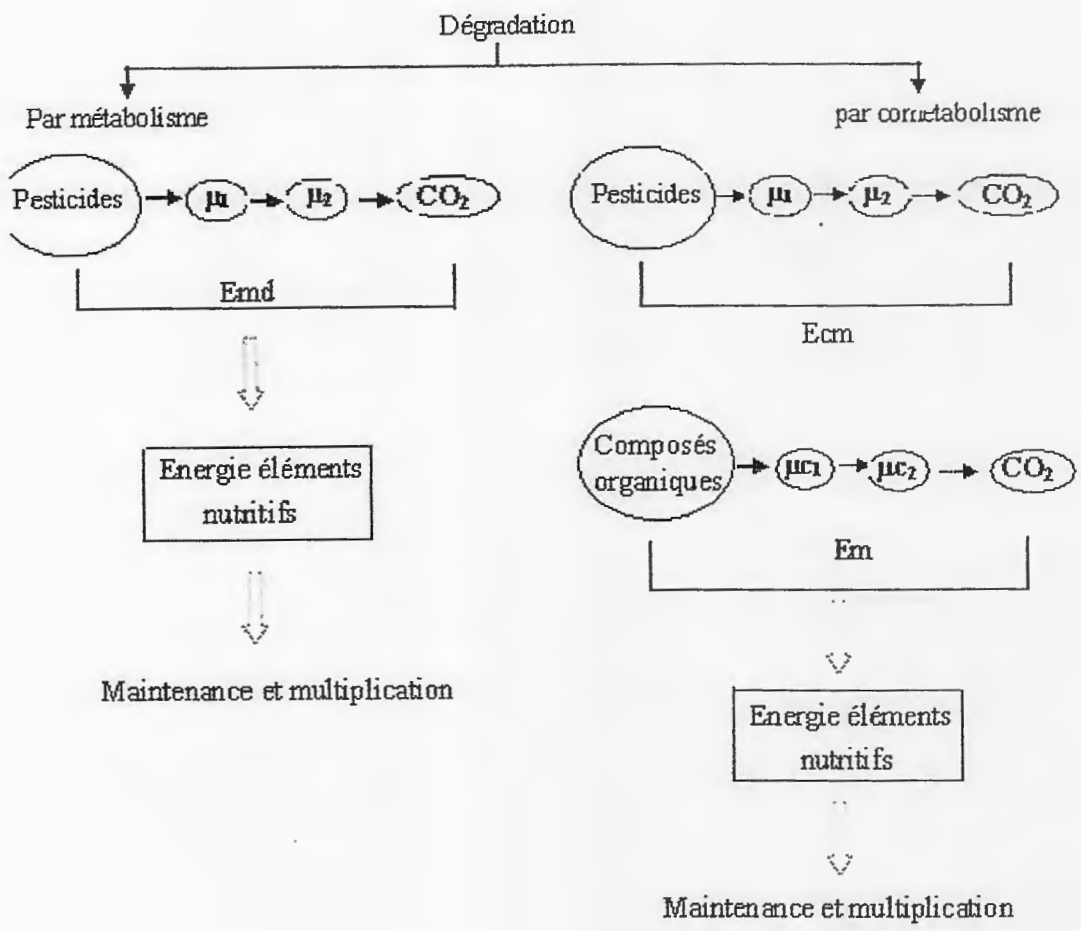

Figure -4- Comparaison schématique entre le métabolisme direct et le cométabolisme (Raoul *et al.*, 2005).

Tableau 1: Comparaison entre le métabolisme direct et le cométabolisme (Raoul *et al.*, 2005).

Dégradation par métabolisme direct	Dégradation par cométabolisme
Le pesticide est dégradé en divers métabolites (M_1, M_2,...) jusqu'à des molécules inorganiques. Les enzymes nécessaires (Emd) peuvent être produites par une ou plusieurs souches microbiennes.	La maintenance, la multiplication des micro-organismes sont assurées par la minéralisation de composés organiques différents du pesticide et qui met en jeu des enzymes Em. La dégradation du pesticides en métabolites (M_1, M_2,...) différents ou identiques au cas précédent est due à d'autres enzymes (Ecm) et se déroule parallèlement à celle des composés organiques. Ces métabolites peuvent être éventuellement être minéralisés.

c/ La conjugaison et la condensation:

Des enzymes produites par microflore sont susceptibles de faciliter des réactions de conjugaison et de condensation des molécules de pesticides, entre elles ou avec des métabolites ou autres composés organiques naturellement présents dans le sol. (Raoul *et al.*, 2005).

La conjugaison conduit à l'union de deux molécules. La méthylation et l'acétylation sont deux réactions de conjugaison effectuées par la microflore du sol. C'est ainsi que la méthylation du pentachlorophénol par une culture de *Trichoderma viride* et l'acylation de dérivés de l'aniline, métabolites fréquents de la dégradation de pesticides, par des cultures de *Talaromyces wortmanii* et de *Fusarium oxysporium* ont été observées (Raoul *et al.*, 2005).

La condensation conduit à la réunion de 2 à 5 molécules environ et de polycondensats de taille moléculaire plus importante quand un plus grand nombre de molécules sont réunies. Par exemple, une enzyme comme la laccase peut conduire à la formation de produits de condensation à partir de 2,4-dichlorophénol (un métabolite du 2,4-D) et de polychlorophénols avec l'acide syringique ou ses dérivés, de même, des réactions de condensation catalysées par des enzymes ont été observées entre des amines aromatiques, métabolites des pesticides, et divers acides phénoliques présents dans les substances humiques. En particulier, les réactions de polycondensation induites par les micro-organismes, jouent un rôle important dans l'incorporation des pesticides dans les substances humiques du sol (Bollag ., 1983) et contribuent à la formation des résidus liés.

III-5-3. Les principales réactions mises en jeu dans la dégradation microbiologie des pesticides:

La caractéristique commune à toutes les réactions mises en jeu dans la dégradation par les micro-organismes est qu'elles sont toutes catalysées par des enzymes dont la plupart sont intracellulaires. Cela signifie que les réactions ont lieu à l'intérieur des corps microbiens et qu'elles sont précédées par l'absorption des pesticides. Il en résulte des conséquences qui sont discutées à propos des cinétiques de dégradation. Les principales réactions chimiques impliquées sont l'hydrolyse, l'oxydation, la réduction et la conjugaison /condensation. Cette dernière ayant été abordée précédemment. Ces réactions en nombre plus ou moins grand se succédant et constituent des chaînes réactionnelles encore appelées voies métaboliques.

Les groupes fonctionnels participant aux réactions d'hydrolyse, de réduction et l'oxydation ainsi que des exemples de pesticides correspondants sont indiqués dans les tableaux 2, 3 et4, respectivement (Larson et Weber., 1994; Schwarzenbach *et al*; 2003)..

a/ Réaction d'hydrolyse:

C'est un type de réactions très commun qui fait intervenir des enzymes comme les estérases, les phosphatases et les lyases. Les pesticides qui contiennent des groupes ester, éther et amide (tableau 2) peuvent être hydrolysés et donner des métabolites généralement moins toxiques. Selon Munnecke, l'hydrolyse des organophosphatés, des phénylcarbamates et des thiocarbamates conduit à une perte importante de toxicité. En revanche, selon les mêmes auteurs, elle donne des métabolites peu différents des pesticides pour les acides phénoxyalcanoïques, les acétanilides et les phénylurées. Signalons que l'hydrolyse peut parfois s'accompagner du départ d'un atome d'halogène, auquel cas, la réaction d'hydrolyse est aussi une réaction de déshalogénation. Beaucoup de micro-organismes et notamment des champignons, excrètent des enzymes qui ont des propriétés hydrolytiques et agissent à l'extérieur des corps microbiens (Munnecke *et al.*, 1982

b/ Réaction d'oxydation:

Très fréquente dans le métabolisme des micro-organismes, les réactions biochimiques d'oxydation sont catalysées par diverses enzymes telles que les oxygénases et les peroxydases.

Dans les milieux naturels oxygénés, l'oxygène moléculaire, O_2 n'est pas très réactif. Il doit être transformé en un oxydant plus efficace et cela demande de l'énergie et l'intervention d'enzyme comme les oxydases et des coenzymes comme le NADPH (nicotamide adénine dinucléoside réduite). Quand deux atomes d'oxygène provenant de l'oxygène moléculaire participent à la réaction il s'agit d'un dioxygénase; quand un seul atome d'oxygène est impliqué, il s'agit d'une mono oxydase (Ex: cytochrome P 450).

Les principaux groupes qui sont le siége de ces réactions sont indiqués dans le tableau 4. Plusieurs types de réactions d'oxydation des pesticides ont été observés et sont brièvement décrits dans ce paragraphe (Raoul *et al.*, 2005).

✓ **Oxydation par hydroxydation :**

Il s'agit de l'addition d'un groupe hydroxyle sur un groupe aliphatique ou sur une structure aromatique. Les enzymes impliquées sont des hydroxylases, des monooxygénases ou des enzymes à fonctions multiples et la réaction nécessite de l'oxygène moléculaire et du NADPH. C'est souvent la première étape des chaînes métaboliques de la dégradation microbiologique de nombreux pesticides; elle conduit à des composés plus polaires, donc plus solubles dans l'eau et par conséquent plus mobiles et bioactifs (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par N-désalkylation :**

L'oxydation a lieu par l'enlèvement d'un groupe aliphatique attaché à un atome d'azote d'une molécule aliphatique ou aromatique. Elle fait intervenir des oxydases à multifonctions. Des pesticides appartenant à d'importantes familles chimiques sont ainsi transformés et détoxifiés phénylurées, carbamates, dinitroanilines, bipyridinuims (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par décarboxylation :**

Il s'agit d'une réaction très fréquente qui se traduit par l'enlèvement d'un groupe carboxylique. Elle a été observée, par exemple, avec des herbicides dérivés de l'acide benzoïque et de la famille des bipyridiniums (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par la rupture de la liaison éther :**

Cette réaction se traduit par la coupure de la liaison C-O au niveau de l'atome d'oxygène de la fonction éther. Elle affecte de nombreux pesticides qui possèdent une telle fonction, comme les phénylureés, les organophosphatés, les phénoxyalcanoates et les carbamates (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par époxydation :**

L'oxydation est due à l'introduction d'un atome d'oxygène entre deux atomes de carbone liés par une double liaison. Elle est effectuée par de nombreux micro-organismes et conduit souvent à la formation de dérivés époxyde plus toxique que le pesticide initial. L'oxydation de l'hepatchlore est un exemple bien connu (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par couplage oxydatif :**

Il s'agit de réactions de condensation catalysées par des phénoloxydases. Elles conduisent à la formation de dimères ou d'autres oligomères, un exemple connu est celui de la condensation du 2,4- dichlorophénol, un métabolite du 2,4-D (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par d'un cycle aromatique :**

De nombreux pesticides possèdent un ou plusieurs noyaux aromatiques et sont donc susceptibles d'être dégradés par ce type de réaction. Elle est catalysée par des dioxygénases et la première étape est une dihydroxylation sur le cycle; elle a lieu en conditions aérobies. La facilité de la réaction dépend beaucoup de la nature des substituant; le chlore, par exemple, est défavorable et limite la vitesse de la transformation (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par rupture d'un hétérocycle :**

L'oxydation par la rupture d'un hétérocycle est du même type que pour un cycle carboné. Toute fois, la présence d'un hétéro atome complique la chaîne de réaction qui est encore incomplètement décrite. Elle a été observée pour des pesticides des familles chimiques des pyridines, des pyrimidines et des triazines (Raoul *et al.,* 2005).

✓ **Oxydation par sulfoxydation :**

Elle correspond à l'oxydation de thioéthers et de sulfites en sulfoxyde, sulfone, ou même en sulfates. L'origine microbienne de cette transformation ne semble pas définitivement établie (Raoul *et al.,* 2005).

c/ Réactions de réduction:

Les groupes atomiques indiqués dans le tableau 2 subissent des réactions de réduction. Ils sont présents dans nombreux pesticides, de sorte que la réduction est un des voies possibles de leur dégradation. Les pesticides organophosphorés en sont des exemples. Une autre réaction relève de la réaction: c'est la déshalogénation réductive observée pour de nombreux pesticides chlorés comme le pentachorophénol, le DDT, le lindane, l'héptachlore et le méthoxychlore (Raoul *et al.,* 2005).

Tableau 2. Principaux groupes chimiques des molécules pesticides pouvant être réduits (Larson et Weber., 1994).

Groupe chimique	Réaction d'oxydation	Exemple
Radicaux aliphatiques R_1-CH_3 -CH_2-CH_2-	Hydroxylation d'un atome de C R_1-CH_2-R_2 ⟶ R_1-C(OH)H-R_2	Carbofuran, bromacel
	Carboxylation d'un atome de C R_1-CH_2-OH ⟶ R_1-C(=O)-OH	Métabolite de la cyperméthylryne
	Formation de cétone R_1-CH_2-R_2 ⟶ R_1-C(=O)-R_2	Carbofuran,
Carbones éthyléniques R_1-C(H)=C(H)-R_2	époxydation R_1-C(H)=C(H)-R_2 ⟶ R_1-C(H)-O-C(H)-R_2	Heptachlore
	Rupture d'une double liaison R_1-C(H)=C(H)-R_2 ⟶ R_1-COOH+R_2-COOH	Phénylurées dérivés benzoïques
Groupe amine R-NH_2	R-NH_2 ⟶ R-NO ⟶ R-NO_2	Métabolites des Phénylurées, des anilides
Groupe thiol R_1-S-R_2	R_1-S-R_2 ⟶ R_1-S(=O)-R_2 ⟶ R_1-S(=O)(=O)-R_2	Aldicarbe carboxine

R_1et R_2 est des radicaux aliphatique ou aromatique.

Tableau 3. Principaux groupes fonctionnels des molécules pesticides impliqués dans des réactions d'oxydation (Larson et Weber., 1994).

Groupes réduits dans les conditions des milieux naturels		
Nom	**Réaction de réduction**	**Exemple**
Groupe nitro–aromatique	-NO_2+6é+6H^+ ⟶ -NH_2+ 2H_2O	Dérives du nitrobenzène méthyl-parathion Trifluraline
Groupe sulfoxyde R_1-S(=O)-R_2	R_1-S(=O)-R_2+2é+2H^+ ⟶ R_1-S-R_2+H_2O	Oxydiméton-methyle (organophosphore)
Groupe alkyl R_1-X-R_2 X=N,O ou S	R_1-X-R_2+2é+2H^+ ⟶ R_1-X-H+R_2H	Déalkylation réductive des triazine

Groupe qui ne sont pas réduits dans les conditions des milieux naturel	
Nom	Réaction
Aldéhyde R_1-C(=O)-H	Aldéhyde ⟶ alcool
Cétone R_1-C(=O)-R_2	Céton ⟶ alcool
Groupe carboxylique R_1-C(=O)-OH	Acide ⟶ alcool
Ester carboxylique R_1-C(=O)-R_2	
Amide R_1-C(=O)-NH_2	

Tableau 4. Principales relations qualitatives entre la résistance à la minéralisation et des caractéristiques chimiques des molécules pesticides (Scheunert., 1992).

Molécules de petite taille	**Molécules de grande taille**
Groupes aliphatiques linéaires $-CH_2-CH_2-$ ...	Groupes aliphatiques ramifiés $R_1C(CH_3)_2-CH_2-R_2$
Carbones primaire et secondaires $-CH_3$ $-CH_2-$	Carbones tertiaires -CH-
Chaînes insaturées -CH=CH-	Chaînes saturées $-CH_2-CH_2-$ ...
Chaînes saturées $-CH_2-CH_2-$ ...	Structures aromatiques
Dérivés du benzène	Triazine
Composées aromatiques avec peu de substituants	Composées aromatiques avec peu de substituants
Amines primaire et secondaires $R-NH_2$ R_2-NH	Amines tertiaires $R_2-N(R_2)-R_3$
Composées aromatiques avec substituants aliphatiques	Composées aromatiques avec substituants Halogènes
Liaison ester $R_1-C(=O)-O-R_2$	Liaison éther R_1-O-R_2

La grande taille= résistance

III-5-4. Les enzymes impliquées dans la dégradation des pesticides:

Les enzymes sont des protéines capables de catalyser des réactions chimiques; comme tous les catalyseurs, elles agissent sur la vitesse des réactions chimiques tout en restant inaltérées. Elles sont spécifiques d'un substrat ou d'une liaison de sorte qu'il s'agit de catalyseurs très spécialisés, ce qui explique leur grande variété.

Le sol contient un grand nombre d'enzymes en raison de l'abondance et de la diversité des micro-organismes qui en sont la principale source comparée aux végétaux et aux animaux. Elles sont entrées en petites quantités dans la solution du sol où elles sont rapidement dégradées. A l'extérieur des corps microbiens, elles existent dans les sols

essentiellement adsorbés sur les minéraux et peut être complexées par les substances humiques. Pour agir, les enzymes intracellulaires (endo enzymes) nécessitent que les molécules organiques de substrat soient absorbées, c'est-à-dire qu'elles pénètrent à l'intérieur des cellules. Au contraire, les enzymes extracellulaires (exo enzymes) catalysent des transformations dans la solution du sol ou le plus souvent en phase adsorbée. Cette distinction a des conséquences sur les cinétiques de dégradation. Toutes les enzymes nécessaires à la dégradation complète d'un pesticide sont rarement présentes dans une seule espèce microbienne de sorte que plusieurs espèces doivent Intervenir au sein de ce qui est appelé un consortium (Raoul *et al.*, 2005). La dégradation de nombreux pesticides fait intervenir des enzymes qui ne sont pas spécifiques et qui sont impliquées dans les transformations chimiques des composés organiques naturels. De fait, assez peu d'enzymes adaptées à des pesticides particulières ont été isolés et étudiées (Bollag et Liu., 1990), quelques exemples sont donnés dans le tableau **5** . Ce pendant, beaucoup de pesticides ont une structure chimique différente des composés naturels et leur dégradation nécessite une évolution de l'équipement enzymatique des microorganismes. Elle est possible grâce à des échanges de gènes facilités par la très grande diversité des microorganismes du sol (Kearnez et Kellog., 1985). Il s'agit la d'un aspect du processus de dégradation qui est un facteur important.

S'agissant de protéines, les enzymes sont des substances fragiles, détruites par la chaleur, les hautes pressions, les acides et les bases fortes et probablement par les radiations gamma. Leur activité dépend de plusieurs facteurs ; le pH dont la valeur optimum est souvent aux environ de 7, la force ionique et la température dont l'optimum d'action se situe aux environ de 4°C. Cette dernière caractéristique confère aux cinétiques de dégradation une dépendance particulière à l'égard de la température.

Tableau 5 : exemples d'enzymes spécifiques (Bollag et Liu., 1990)

Pesticide	Enzyme	Microorganisme
Carbofuran	Hydrolase	*Achromobacter sp*
Dalapon	Déhalogénase	*Arthobacter sp*
Fenthion	1,2dioxygénase	*Nacardia sp*
Malathion	Hydrolase	*Thichoderma viridue, Pseudomonas sp*
Parathion	Phoshohydrolase	*Echerichia coli*
Propanil	Acylamidase	*Fusarium salane*
Prophane	Arylacylamidase	*Bacillus sphaericus*

III-6. Pratiques destinées à réduire les risques de pesticides

Les processus qui déterminent le devenir des pesticides dans les sols impliquent nombreux phénomènes interactifs qui se déroulent dans les milieux hétérogènes. La conséquence environnementale est qu'il toujours possible que de petites quantités de pesticides persistent longtemps et soient transférées dans l'air et les eaux, ce qui ne rend des risques environnementaux nuls un peu illusoires. La discussion de cette question relève, en grande partie des domaines économiques et politiques qui sont évidemment hors

du cadre de cet ouvrage. Cela posé, il est malgré tout impératif de réduire ces risques le plus possible et pour cela, on dispose de plusieurs moyens pratiques concernant la mise en œuvre des pesticides et de diverses dispositions et actions socio-économiques (Raoul *et a.,l* 2005)

III-6-1. Pratiques relatives à la mise en œuvre des pesticides

Transport, stockage et manipulation des produits phytosanitaires

Toutes les opérations de transport, de stockage et de manipulation des produits sont de possibles occasions d'apports de pesticides dans le sol, l'air et les eaux. Bien qu'elles ne concernent pas le devenir des pesticides dans le sol, elles doivent être évoquées dans le cadre général de la réduction des risques environnementaux.

- **Le transport et le stockage :**

Il existe une réglementation fixant les modalités du transport et de la signalisation de véhicules ainsi que pour l'aménagement des locaux des stockages.

- **La manipulation :**

Elle doit, elle aussi, désir a certaine règle :

1. Pour la santé humaine: port de vêtement adaptés, de gants, de masque; utilisation de formulation de produit ne donnant pas de poussière ou de micro gouttelettes facilement absorbables par un inhalation.

2. Pour la protection des milieux naturelles en évitant des apports, en particulier aux eaux superficielles par:

* L'utilisation d'aire appropriés pour le remplissage et le lavage des appareills de traitement permettant de recueillir les eaux contaminé pour les traiter ou les épandre.

* L'élimination des reliquats des produits et des fonds de cuve à l'aide de dispositifs susceptibles de permettre la dégradation des pesticides telles que les « biobed » dans les pays nordiques (Demars et *al.*, 2003) et les « les phytobacs » en France. Ces dispositifs fonctionnement tout sur le même principe et sont constitués d'un bac isolé du milieu environnant et rempli d'un mélange de terre et de matière organique (paille de blé généralement). Pour une bonne dégradation des matières actives les conditions nécessaires mise en évidence sont un pH proche de la neutralité et une teneur en eau permettent le maintient d'un milieu aérobie. Un certain nombre de ces dispositifs sont installes, mais leurs fonctionnement n'est pas encore très bien optimisé (Raoul *et al.*, 2005).

* L'élimination des emballages par des collectes.

III-6-1-2. Les modalités de traitement :

Les traitements sont les principales sources d'apports de pesticides aux milieux naturelles. Il est important qu'ils soient effectués dans des conditions qui minimisent les risques le transfert, à la fois directement hors des zones traitées et indirectement par le transport dans ou à la surface de sol. Quatre aspects sont à prendre en considération dans ce but : la démarche conduisant à la décision de traiter, le choix des produits, les modalités des traitements et la réduction des quantités de pesticides utilises. Ces question sont été discutés en détail dans le cadre des travaux de CORPEN (1999) qui propose, entre autre, des démarche a suivre pour réduire les risques environnementaux.

- **La décision de traiter :**

Il s'agit d'un volet important des pratiques destinées à réduire les risques environnementaux la décision de traiter doit reposer sur des informations objectives permettant d'estimer les risques d'infestation et de dégâts aux cultures. Ce sont toutes les observations notamment les comptages et les observations effectuées dans les champs, mais aussi les avertissements diffusés par les services de la protection des végétaux, les services des chambres d'agriculture et parfois des coopératifs agricoles. La décision de traiter repose sur l'existence de seuils de nuisibilité que ne sont pas toujours bien connus et faciles à déterminer et qui dépendent des conditions climatiques et des pratiques culturelles (Tissut et Sevrin., 1984).

- **Le choix des produits :**

Dans la mesure ou la nature des cultures, leurs successions sur une parcelle et les conditions pédoclimatiques le permettent, il est utile de s'interroger sur l'opportunité de modifier le choix des produits. Il faut alors essayer d'utiliser des pesticides dont le potentiel de mouvement et le plus petit possible et s'efforcer de réduire les doses appliquées, à ce propres, la formulation des produit peut être un critère de choix pour les raisons de sécurités sanitaires lors des manipulations des pesticides et aussi pour limiter de possibles transferts à la surface du sol (Fournier *et al.*, 2002).

- **La réalisation des traitements :**

Le caractère plus ou moins polluant d'un traitement dépend de plusieurs facteurs relatifs à la manière dont il est effectué. Pour limiter leurs transferts dans l'air, les pesticides volatils (Ex : triflusaline), doivent être incorporés dans le sol immédiatement après l'application. La position des traitements par apport aux pluies a une influence sur les transferts par ruissellement et érosions et donc sur la pollution des eaux superficielles, les traitements appliqués sur un sol battent peut de temps avant une pluie, provoquent des transferts à la surface qui peuvent engendrer des pollutions. A ce propos, les formulations jouent aussi un rôle. Et influencent les transferts vers les eaux superficielles. Celles qui maintient les pesticides dans la phase solide à la surface du sol (granules, poudres suspensions) peuvent ainsi favoriser ces transferts. Le décalage dans le temps des traitements par rapport aux périodes critiques pendant lesquelles la circulation de l'eau excédentaire favorise les transferts de résidus vers le milieu aquatique peut être utile. La Corpen (1999) a récemment publié une analyse et une discussion de ces aspects. La

proximité de court d'eau et de surface en eau doit aussi faire l'objet de précautions pour éviter leurs contaminations par les dérivés au moment de l'application (Raoul *et al.*, 2005).

- **La réduction des quantités appliques :**

Il est évident que les flux de pesticides dans l'environnement sont d'autant plus grands que les quantités appliquées sont grandes. Par conséquent toute action visant à le réduire peut diminuer les risques bien qu'il n'y ait pas de proportionnalité entre les deux. Outre une démarche rationnelle et objective pour choisir les quantités appliquées, il existe des alternatives aux produits chimiques susceptibles d'être mis en ouvre. Seuls ou associées avec eux. Ces alternatives sont (Servin., 2000) :

- L'utilisation de mesures prophylactiques propres à limiter le développement des ennemies des cultures.

- Les interventions mécaniques.

- Les interventions biologiques qui utilisent d'autres organismes vivants (insectes prédateurs d'insectes ravageurs, champignons parasites d'insectes, ...)

A cela, il faut ajouter maintenant les tentatives meniée dans le cadre de l'agriculture de précision (Biosgontier *et al.*, 1997) et l'ingénierie génétique qui, en produisant des végétaux résistants à des ennemis particuliers ou à des pesticides, limitent en partie les quantités appliquées. C'est le cas par exemple de désherbage des cultures de colza, de mais et de la betterave, rendues, résistantes au glyphosate. Il en résulte des diminutions du nombre d'herbicides utilisés et apparemment des apports de pesticides (Many., 2004) sans entrer dans le débat sur l'utilisation des organismes génétiquement modifiés résistants au glyphosate, par ailleurs, on ne peut pas exclure que l'utilisation massive et répétée d'un même herbicide puisse entraîner l'apparition d'espèces végétales résistantes, ce qui pourrant ultérieurement compliquer les opérations de désherbage (Raoul *et al.*, 2005).

III-6-2. Les aménagements de l'espace :

Malgré leur mise en œuvre assez récente, deux types d'aménagements se sont révélés susceptibles de réduire les transferts de pesticides vers les eaux superficielles.

La réalisation ou l'amélioration de dispositifs permettant de canaliser la circulation de l'eau : curage des fossés, installation de nouveaux fossés ou de barrages.

L'aménagement de l'espace, la mise en place de zones tampons est un moyen efficace pour limiter les transferts de surface et éventuellement sub-surface (Raoul et *al.* ; 2005). Ces zones sont des parties de terrain maintenues avec un couvert végétal permanent (bandes enherbées, bandes boisées) leur implantation doit être raisonnée principalement à l'échelle du bassin versant pour tenir compte des modalités de son fonctionnement hydrologique. Des études assez récentes montrent que ces dispositifs réduisent le ruissellement d'environ 60% et le transport des sédiments de 80%. Ils possèdent un raison de leur teneur élevée en matière organique (Raoul et *al.* ; 2005)

III-6-3. Les diagnostics agro-environnementaux :

Parmi les pratiques pouvant réduire les risques de pollution des milieux naturels, il faut citer toutes les démarches qui tentent d'estimer le potentiel polluant des exploitations agricoles environnementales basées sur des indicateurs agro écologiques (Pointer et Bochu., 1997). Ces diagnostics essaient de tenir compte de l'ensemble des sources possibles de pression sur l'environnement, les pesticides entres autres , et proposent des moyens de classer les exploitations agricoles à l'égard de leur potentiel d'impact environnemental. Certes, ces démarches reposent principalement sur des expertises ce qui les limitent à des considérations qualitatives. Elles présentent néanmoins un certain intérêt car elles conduisent à des analyses assez détaillées du fonctionnement technique d'exploitations agricoles et contribuent à dresser l'inventaire des sources et de leurs possibles effets sur l'environnement.

Dans ce sens, on peut les considérer comme des moyens de limiter les risques environnementaux des pesticides puisqu'elles permettent au moins de les repérer (Raoul *et al.*, 2005).

Conclusion

Conclusion :

Les pesticides sont des composés chimiques dotés de propriétés toxicologiques, utilisés par les agriculteurs pour lutter contre les animaux ou les plantes jugées nuisibles aux plantations.

Malheureusement, tous les pesticides épandus ne remplissent pas leur emploi. Une grande partie d'entre eux est dispersée dans l'atmosphère, soit lors de leur application, soit par évaporation ou par envol à partir des plantes ou des sols sur lesquels ils ont été répandus, disséminés par le vent et parfois loin de leur lieu d'épandage, ils retombent avec les pluies directement sur les plans d'eau et sur les sols d'où ils sont ensuite drainés jusque dans les milieux aquatiques par les eaux de pluie (ruissellement et infiltration). Les pesticides sont ainsi aujourd'hui à l'origine d'une pollution diffuse qui contamine toutes les eaux continentales : cours d'eau, eaux souterraines.

Mais la source la plus importante de contamination par des pesticides demeure la négligence : stockage dans de mauvaises conditions, techniques d'application défectueuses.

Si les pesticides sont d'abord apparus bénéfiques, leurs effets secondaires nocifs ont été rapidement mis en évidence. Leurs toxicités, liée à leurs structures moléculaires, ne se limite pas en effet aux seules espèces que l'on souhaite éliminer. Ils sont notamment toxiques pour l'homme.

Estimer les effets sur les écosystèmes d'une pollution liée aux pesticides s'avère difficile, car il existe un millier de familles de pesticides, soit des dizaines de milliers de pesticides. Ils sont en outre utilisés à faibles doses et leurs comportements sont très divers. Leurs impacts dépendent à la fois de leurs modes d'action (certains sont beaucoup plus toxiques que d'autres), de leurs persistances dans le temps (certains se dégradent beaucoup plus rapidement que l'autres) et de leurs sous-produits de biodégradation lesquels sont parfois plus toxiques et se dégradent moins vite que le composé initial. Leurs effets sur le vivant sont, eux aussi, encore très mal connus.

L'usage des pesticides a considérablement augmenté au cours de ces dernières décennies, quel que le soit niveau économique des pays. Ceci a permis des progrès en agriculture, mais représente également un danger croissant pour la santé des populations. Les effets à court terme (aiguë) sont de mieux en mieux connus alors que les risques à long terme (chronique) sont plus difficiles à apprécier. Les études épidémiologiques publiées à ce jour ont mis en évidence des liens avec des effets retardés sur la santé.

Bibliographie

Bibliographie

AUBERTOT, J.N., BARBIER, A., CARPENTIER, J.J. GRIL, L., GUICHARD, P., LUCAS, S., SAVARY, I., SAVINI, M.VOLTZ (Éditeurs). (2005). Pesticides, agriculture et environnement, Réduire L'utilisation des pesticides et limiter leur impacts environnemental. Edition

AULAY, M. ANDY, S. BALL & SONIA, R. VIRDEE. (2000). L'essentiel en écologie BERTI éditions paris.

BARRIUSON , E,.&H ou OT, S& . C . SERRA .WITTLING. (1997). Influence of compost addition to soil on the behaviour of herbicides. source !

BIOSGONTIER, D., ZWAENEPOEL, P., HÉBRARD, J.P. (1997). Agriculture de précision, cap sur le XXLe siècle, perspectives agricoles.

BOLLAG, J. M. (1983). Cross- coupling of humus constituent and xenobiotic substances, in a quatic and terrestrial humic materials-Russel, F.C.&.E.TGjessing. EdS. Ann Arbor science publishers.

BOLLAG, J. M., LUI, S.Y. (1990). Biological transformation processes of pesticides. Pesticides in the soil environnement. Processes, impacts and modeling. cheng, soil science society of America, Madison, Wisconsin.

CATHRINE R.R, GARARD, R., BERMARD, F. (2005). Enjeux Phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, schevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie, France.

CLAUS, B., ROBERT, P. (2001). Chimie de l'environnement: air, eau, sols, déchets. Éditions de Boeck université.

CONSO, F., DECARMIS, L., CUGIER, J.P., BOUNED, F., DELEMOTTE, B., GINGOMARD, M.A., GRILLET, J.P., PAIRON, J.C. (2002). Toxicologie. Impacts des produits phytosanitaires sur la santé humaine, in pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvements. ACTS, Ed. Ministère de l'écologie et du développement durables, Paris.

DEMARS, J., ROCHARD, J.C., ALLIOT. (2003). Gestion des effluents de pulvérisation en suède-phtona. La défense des végétaux. source !

ÉDITION TERRE VIVANT, septembre, 2002. Homme, nature et pesticides. Possier de presse.

EUGÈNE, A. (2002). Introduction à l'écologie, des écosystèmes naturels à l'écosystème humain.

FOURNIER, J., AUBERLET, D.V., MORIN, A.C. (2000). Formulation des produits phytosanitaires. In pesticides et protection phytosanitaires dans une agriculture en mouvements. ACTS, Ed. Ministère de l'écologie et du développement durables, Paris.

FRANK, C. L. (1992). Toxicologie: données générales procédures d'évolution organes cibles évaluation du risque. Hemiphere publishing corporation.

GENDRON., BRANCHAUD. (1997). Impacts potentiels de la contamination du milieu aquatique sur la reproduction du suceur cuivré (moxostoma thubbsi): synthèse des conaissances, ministère de l'environnement et de la faune service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, rapport technique, direction régionale de la montérégie.

GUY, L., ÉLISABRTH, V. (2001). Microbiologie et toxicologie des aliments, hygiène et sécurité alimentaires. Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine.

JAMES DERVILLEUS, REGIS ,F. PHILIPPE, G, JEAN,L. RIVIER, G. (2005). Indicateur pour évaluer les risques liées à l'utilisation des pesticides. Lavoisier.

JEAN,MICHEL , G . MICH,A. WILLY, M. (2003). Le sol vivant : bases de dédologie biologie des sols presses polyte chimique et universitaires romondes.
JEROME, J., PERRY, J.T. STALEY, S. (2004). Microbiologie: cours et questions de révision.

JOCHEN, M.E., KLAUS, G.E., BARBARA, E., INES, C., THOMAS, Z. (2004). Guide pratique de toxicologie. Editions de Boeck Université.

KEARNEY, P.C., KELLOG, JT. (1985). Microbial adaotation to pesticides. Pure and applied chemistry.

LARSON , R. A.,& E.J. WEBER. (1994). Reaction mechanisms in environmental organic chemistry . lewis publishers , London, Tokyo.

Maison de la consommation et de l'environnement. (2003). Les pesticides: réglementation et effets sur la santé et l'environnement.

MAX , B. (1995). Dictionnaire de microbiologie générale ellipses. Éditions marketing S.A. 32 Rue bargue, Pris.

NEGER.,R (1990). L'alimentation risque majeure écologie systémique. Edition marketing, édition de préparation, grandes écoles médecine, paris.

MINISTERE DU DEVLOPPEMENT DURABLE DE L4ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, 2006. Des pesticides en milieu agricole: et de la situation environnementale et initiatives prometteuses.

MONOD. (1998). Dangers des pesticides pour les organismes aquatiques, difficultés rencontrées pour l'estimation des effets en milieu. INRAC, unité d'écotoxicologue aquatique, actes du colloque l'eau, les pesticides et la santé.

MUNNECKE, D. M., JOHNSON, L. M., TABLOT, H.W. BARIK, S. (1982). Microbial metabolism and enwy;ology of selected pesticides. In biodegradation and detosufication of environmental pollutants. Chkrabarty, A.M.,Ed.,CRC press, Bocca Raton, USA.

NGÔ.C., ALAIN, R. Préface de BERNARD BIGOT. (2004). Déchets et pollution: impact sur l'environnement et la santé. Dunod, Paris.
PETER, H., RAVEN, R.F., EVERK, S., EICHHORN, E. (2000). Bibliothèque nationale. Paris.

PIERRE, D. (1996). Vie microbienne de sol et production végétale. institut national de la recherche agronomique (INRA). paris

POINTEREAU, P., BOCHU, J.L. (1997). Diagnostic agro environnemental d'exploitation: 6 outils passés à la loupe. Travaux et Innovation 38.

RAOUL-CALVET, E., BARRIUSO, C., BEDOS, P., BENOIT, M.P., CHARNAY, Y., COQUET. (2005). Les pesticides dans le sol, conséquences organocloriques et environnent ales. Edition France Agricole.

RICHARD., GIROUX. (2004). Impact de l'agriculture sur les communautés benthiques et piscicoles du ruisseau saint Georges (Québec, Canada), Québec, Ministère de l'environnement, direction du suive de l'état de l'environnement.

ROUSSEAX, S. (2001). Diversité taxonomique, génotypique et physiologique des souches bactériennes dégradant l'atrazine dans les sols, thèse de l'environnement de Bourgogne.
SCHEUNER. (1992). Transformation and degradation of pesticides in soil. In chemistry of plant protection E bing, w ., ed., vol . 8 , springer- verlag, Berlin.
SCHWARZENBACH, R. P., GSCHWEND, P.M .& D.M IMBODEN. (2003). Environmental organic chemistry. John wiley & sons , new york, USA.

SÉVERIN. F, (2000). Panorama des différents moyens de protection, in pesticides protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvements. ACTA Ed., Ministère de l'écologie et du développement durables, Paris.

SÉVERIN, F. (2002). Panorama des différents moyens de protection, in pesticides protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvements. ACTA Ed., Ministère de l'écologie et du développement durables, Paris.

Société de la faune et des parcs du Québec. (2002). Rapport sur l'impact de la production porcine sur la faune et ses habitats, vice présidence au développement et à l'aménagement de la faune.

SOULAS, G. (1991). La biodégradation des pesticides dans le sol, XXIe congrès du groupe Français de pesticides.

SOULAS, G. (1993). Evidence for the existence of different physiological group in the microbial community responsible for 4, 4- Demineralization in soil.

TISSUT, M., SÉVERIN, QF. (1984). Plantes herbicides et désherbage. Bases scientifiques et techniques. ACTA. Paris.

ANNEXE

DDT : Dichloro-diphéhyl-trichlorothane ; 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)-éthane.

LMR : limités maximales des résidus.

MSA : la mutualité sociale agricole.

NTE : neuropathie target estérasa .

PCP : Pentachlorophénol.

PPM : Parties par milliards.

IFEN : L'institut France de l'environnement.

Présentés par:
Bensalhia Siham
Mezhoud Nawel
Laribi Nassima

Encadrer par: Melle S. LAGGOUNE

Titre : La biodégradation des pesticides

Résumé

Les pesticides sont des composés chimiques dotés des propriétés toxicologiques. Utilisés par les agriculteurs pour lutter contre les plantes jugés nuisibles aux plantations. Leurs impacts dépendent à la fois de leurs modes d'action, de leurs persistances dans le temps et de leurs sous-produits de biodégradation lesquels sont par fois plus toxiques et se dégradent moins vite que le composé initial. En plus de bénéfiques des pesticides, leurs effets secondaires nocifs ont été rapidement mis en évidence. Leurs toxicités, liée à leurs structures moléculaires, ne se limite pas en effet aux seules espèces que l'on souhaite éliminer.

Mots clés : Les pesticides; toxicité; biodégradation.

Abstract:

The pesticides are chemical compounds equipped with the toxicological properties. Used by the farmers to fight against the plants considered to be harmful with the plantations. Their impacts depend at the same time on their modes of action, their persistence in time and their by-products of biological breakdown which are by more toxic times and are degraded less quickly than the initial compound. In addition to beneficial of the pesticides, their harmful side effects were quickly highlighted. Their toxicities, related to their molecular structures, is not limited indeed to the only species which one wishes to eliminate.

Key words: Pesticides; toxicity; biological breakdown.

الملخص

المبيدات مركبات كيميائية تتميز بخصائص سمية، تستعمل من طرف المزارعين للمكافحة ضد النباتات الضارة. تأثيرها يتعلق في بعض الأحيان بطريقة نشاطها، زمن التعرض و نواتج هدمها الحيوي التي تكون في بعض الأحيان أكثر سمية و تهدم بسرعة أقل من المركبات الابتدائية. بالإضافة إلى محاسن المبيدات و تأثيراتها الثانوية الضارة السريعة الوضوح. سميتها مرتبطة ببنيتها الجزيئية التي لا تقضي فقط على الأجناس التي نرغب في القضاء عليها.

الكلمات المفتاحية: المبيدات؛ السمية؛ الهدم الحيوي.