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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE

MEMOIRE

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master académique

Filière : ***Biotechnologie***

Spécialité : Biotechnologie microbienne

Thème

Etude préliminaire portant sur l'adsorption de deux pesticides (abamectine et deltaméthrine) sur quelques biomasses bactériennes sèches

Travail réalisé par

Melle : BOUKROU LYDIA

Melle : CHABOUB TINHINANE

Soutenu le 10/10/2018

Devant le jury composé de

PRESIDENT	Mr OUELHADJ A.	Maitre de conférences A à l'UMMTO
PROMOTEUR	Mr Tazdaït D.	Maitre de conférences B à l'UMMTO
EXAMINATEUR	Mr SEBBANE H.	Maitre assistant A à l'UMMTO

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Le grand merci s'adresse au bon dieu le tout-puissant, de nous avoir donné la force, la volonté et la patience, et qui nous a guidé et éclairé notre chemin tout au long de notre parcours jusqu'à ce jour.

Au terme de ce travail, il nous tient à cœur d'adresser nos remerciements les plus distinguées aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce que ce travail soit à la hauteur.
Nos remerciements vont particulièrement à :

***Mr TAZDAÏT D.,** maitre de conférences B à l'UMMTO qui nous a honorés en acceptant de diriger ce travail avec une grande rigueur scientifique, pour son soutien, ses conseils avisés et pour sa supervision éclairée tout au long de la rédaction du mémoire. Qu'il trouve ici nos sentiments de gratitudes et de déférence.*

***Mr OUELHADJ A.,** Maitre de conférences A à l'UMMTO, pour nous avoir fait l'honneur de présider nôtre jury.*

***Mr SEBBANE H.,** maitre assistant A à l'UMMTO, d'avoir accepté de faire partie de notre jury et de participer à l'évaluation de notre travail.*

Le personnel du laboratoire pédagogique de microbiologie de l'UMMTO de nous avoir soutenu et encouragé tout le long de notre travail, ainsi que nos camarades au sein du laboratoire qui nous en soutenue moralement et aider de leur possible.

Liste des abréviations

ALPHYT : Algérienne des Phytosanitaires

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail.

ATCC: American Type Culture Collection

BHIB: Brain Heart Infusion Borth

DES : Dose Sans Effet

DJA : Dose Journalière Acceptable

DL50 : Dose Létale à 50%

DO : Densité Optique

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

INRS: Institut National de la Recherche et de la Santé

Kj : kilojoule

Koe : Coefficient de partage carbone organique eau

KPa : kilopascal

LMR : Limite Maximale de Résidus

MH : Milieu de Mueller Hinton

MSA : Mutualité Sociale Agricole

nm : Nanomètre

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

p.c: Poids Corporel

Pa: Pascal

PCB : Polychlorobiphényle

PE : Perturbateurs Endocriniens

PH : Potentiel Hydrogène

ppm : Partie Par Million

PV : Pression de Vapeur

rpm : Rotation Par Minute

TCE : trichloroethane

Teb : Température d'Ebullition

Tf : Température de Fusion

tpm : Tour Par Minute

TTCE : Tetrachloroethane

UIPP : Union des Industries de la Protection des Plantes

UV : Ultra Violet

V/V : Volume/Volume

µg : Microgramme

µm : Micromètre.

Liste des figures

Figure 1: Schéma de l'adsorption physique 16

Figure 2 : Principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à l'interface solide/liquide 21

Figure 3 : Structure chimique de la molécule de la deltaméthrine 28

Figure 4 : Structure chimique de la molécule d'abamectine 30

Figure 5 : Structure chimique de l'éthanol 31

Figure 6 : Spectre d'absorption de l'abamectine dans le domaine de l'UV-Visible. 36

Figure 7 : Spectre d'absorption de la deltaméthrine dans le domaine de l'UV-Visible. 37

Figure 8 : Evaluation de l'absorbance de la deltaméthrine en fonction du temps (témoin négatif). 38

Figure 9 : Evaluation de l'absorbance de l'abamectine en fonction du temps (témoin négatif). 39

Figure 10 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur le charbon actif en fonction du temps. 40

Figure 11 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur le charbon actif en fonction du temps. 40

Figure 12 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur *E. coli ATCC 25922* en fonction du temps. 43

Figure 13 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur *E. coli ATCC 25922* en fonction du temps. 43

Figure 14 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*. 44

Figure 15 : Evaluation de l’adsorption de la deltaméthrine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*. 44

Figure 16 : Evaluation de l’adsorption de l’abamectine sur *Staphylococcus aureus ATCC 43300*. 45

Figure 17 : Evaluation de l’adsorption de la deltaméthrine sur *Staphylococcus aureus ATCC 43300*. 45

Liste des tableaux

Tableau I : Principales familles d'insecticides, de fongicides et d'herbicides 8

Tableau II : Domaines de la solubilité de quelques familles chimiques de pesticides 10

Tableau III : Les différences principales entre les deux types d'adsorption. 17

Tableau IV : Principales caractéristiques du charbon activé 19

Tableau V : Propriétés physico-chimiques de la deltaméthrine 29

Tableau VI : Propriétés physico-chimique de l'abamectine 30

Tableau VII : Tableau descriptif des différentes bactéries utilisées pour le test de l'adsorption 31

Tableau VIII : Tableau descriptif des milieux de cultures utilisés. 32

Tableau IX : Les appareilles utilisés. 32

Tableau X : Rendement de l'adsorption des deux pesticides sur le charbon actif. 41

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction……..……..……1

1ère partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les pesticides

1. Définition.....3
2. Composition d'un pesticide.....3
3. Usage des pesticides.....4
4. Classification des pesticides selon leur cible 4
   - 4.1 Les insecticides.....5
   - 4.2 Les fongicides.....5
   - 4.3 Les herbicides :.....6
5. Classification des pesticides selon la nature chimique **7**
   - 5.1 Pesticides inorganiques 7
   - 5.2 Pesticides organométalliques.....7
   - 5.3 Pesticides organiques.....7
6. Caractéristiques physicochimique :.....9
   - 6.1 Les propriétés physico-chimiques :.....9
     - 6.1.1 La tension de vapeur et volatilisation :.....9
     - 6.1.2 La solubilité dans l'eau :.....10
     - 6.1.3 Hydrolyse :.....11

6.1.4 Mobilité : 11
7. Toxicité des pesticides : 11
8. Les pesticides en Algérie 13
9. Législation : 13

Chapitre II: Traitement des pesticides par adsorption

1. Définition 15
2. Types d'adsorption 15
2.1 Adsorption chimique (ou chimisorption) 15
2.2 Adsorption physique (ou physisorption) 16
3. Application de l'adsorption 17
4. Les principaux adsorbants 18
4.1 Les charbons actifs 18
4.2 Les argiles 19
4.3 La zéolithe 19
4.4 L'alumine activée 20
4.5 Le gel de silice 20
4.6 Les biosorbants 20
4.6.1 Les biomasses bactériennes 20
4.6.2 Les algues 21
4.6.3 Les champignons 21
5. Mécanisme d'adsorption 21
6. Facteurs influencent l'adsorption 22
6.1 Le pH 22
6.2 La température 22

6.3 Facteurs caractérisant l'adsorbat 22

6.4 Facteurs caractérisant l'adsorbant 23

6.5 La polarité 23

7. Les isothermes d'adsorptions 23

7.1 Isotherme de Langmuir 24

7.2 Isotherme de Freundlich 25

7.3 Isotherme d'Elovich 26

7.4 Isotherme de Temkin 27

2ème partie: étude expérimental

I Matériel et méthodes

1. Matériel 28

1.1 Les pesticides utilisés 28

1.1.1 La deltaméthrine 28

1.1.2 L'abamectine 29

1.2 Le solvant utilisé 31

1.3 Souches microbiennes utilisées 31

1.4 Milieux de culture utilisés 32

1.5 Appareillage 32

2. Méthodes 33

2.1 Culture des souches microbiennes 33

2.1.1 Revivification des souches dans le milieu BHIB 33

2.1.2 Ensemencement des milieux de cultures 33

2.1.3 Récupérations et séchage de la biomasse 33

2.2 Etude de l'adsorption de la deltaméthrine et de l'abamectine par les souches microbiennes sèches 33

2.2.1 Etablissement du spectre d'absorption des deux pesticides dans le domaine de l'UV-Visible 33

2.2.2 Réalisation d'un témoin négatif :..... 34

2.2.3 Réalisation d'un témoin positif : 34

2.2.4 Réalisation des courbes étalons 35

2.2.5 Etude de l'interaction des pesticides avec les biomasses microbiennes sèches…..... 35

2.2.6 Méthode de calcules…….36

II. Résultats et discussion

1. Résultats des spectres d'absorption des deux pesticides dans le domaine de l'UV-Visible 36

1.1 Spectre d'absorption de l'abamectine 36

1.2 Spectre d'adsorption de la deltaméthrine 37

2. Résultats des témoins 38

2.1 Les témoins négatif..... 38

2.2 Témoins positifs 39

3. Résultats de l'interaction entre les pesticides et les biomasses bactériennes sèches 42

3.1 Interaction entre les pesticides et *Escherichia coli ATCC 25922*..... 42

3.2 Interaction entre les pesticides et *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* 43

3.3 Interaction entre les pesticides et *Staphylococcus aureus ATCC 43300*..... 45

3.4 Discussion..... 46

Conclusion……..……..48

références bibliographiques

Annexe

Résumé

Introduction

Introduction

Les pesticides sont des produits chimiques utilisés dans l'agriculture pour protéger les récoltes des insectes, des champignons, des mauvaises herbes et d'autres nuisibles. En plus de leur utilisation dans l'agriculture, ils sont emploie également pour protéger la santé publique dans la lutte contre les vecteurs de maladies tropicales, comme les moustiques (OMS, 2016).

Cette utilisation intense et répétée soulève de redoutables questions d'ordre environnemental, et pose des problèmes de santés pour les agriculteurs et les consommateurs (Wright, 1991). En effet, les pesticides sont à l'origine de la perturbation de l'écosystème local et de l'apparition de résistance des parasites aux produits les plus utilisés (Georghiou, 1986). A cela s'ajoutent les risques de pollution atmosphérique, la contamination du sol et des eaux (Ngom, 1992).

Le problème des résidus de pesticides dans les fruits et légumes n'est pas en reste et constitue une menace pour l'être humain. Ils peuvent avoir des effets indésirables sur la santé, parmi lesquels on peut citer les cancers, malformations congénitales, avortements spontanés, diminution de la fertilité et des effets sur les systèmes immunitaire et endocrinien (Samuel, 2014).

Parmi les nombreux pesticides commercialisés en Algérie, la deltaméthrine et l'abamectine sont parmi les plus employés dans la lutte contre différents nuisants tels que les moustiques, les blattes, le criquet pèlerin, etc. Même si aucune donnée sur les effets chroniques, génotoxiques, cancérogènes ou sur la reproduction n'est disponible, on note que l'exposition aiguë aux préparations commerciales à base d'abamectine entraine, des réactions irritatives fortes de la peau et des muqueuses ainsi qu'une dépression du système nerveux possiblement liée à une intoxication aux solvants de la préparation (INRS, 2013). Pour la deltaméthrine, des effets aigus sont observés essentiellement neurologiques à type de paresthésies mais aussi cutanéo-muqueux à type d'irritation ; tandis que les manifestations décrites pour la plupart des expositions chroniques sont bénignes (INRS, 2007)

Comme méthodes de traitement des pesticides, on compte les méthodes suivantes : biologique, chimique et physique.

La méthode biologique ou biodégradation conduit à la disparition ou à la transformation des pesticides en éléments de base sous l'action des micro-organismes du sol qui les utilisent comme une source d'énergie (Amalric et al., 2003).

La dégradation chimique ou abiotique, c'est la dégradation de produits phytosanitaires par les interactions avec les produits chimiques du sol. Elle est plus importante dans les zones où l'activité biologique est réduite. Elle est faite par les réactions d'hydrolyse, de déshydrohalogénation, d'oxydoréduction et de photolyse (Amalric et al., 2003 in Walfe et al., 1990).

L'adsorption qui est un phénomène physico-chimique par lequel des molécules présentes dans un effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide, cette méthode est particulièrement intéressante. En effet, la physisorption est une technique non destructive, elle trouve donc tout sont intérêt, technique et économique, dans les applications d'épuration avec récupération de produits (INRS, 2006). Son utilisation est assez large en raison de sa facilité d'emploi (Weckhuysen et al., 1996) et sa capacité de diminuer la mobilité des polluants. L'adsorption est aussi utilisée à des fins séparatives car elle peut être réversible (Weber et al., 1980).

Dans notre travail, on s'est intéressé à l'étude de l'adsorption de deux pesticides : l'abamectine et la deltaméthrine sur des biosorbants obtenus en séchant des colonies de différentes espèces microbiennes (*Escherichia coli ATCC 25922, Staphylococcus aureus ATCC 43300, Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*). Le but étant de tester la capacité de ces biomasses à diminuer la charge des deux polluants étudiés présents dans une solution synthétique.

Chapitre I

Généralités sur les pesticides

1. Définition

Le terme pesticide s'est construit à partir du suffixe «-cide » qui signifie « tuer » et de la racine anglaise « Pest » qui désigne tout animal ou plante « virus, bactérie, champignon, ver, mollusque, insecte, rongeur, oiseau et mammifère) susceptible d'être nuisible à l'homme et à son environnement (Periquet,1986), et regroupe toute substance destinée pour protéger les cultures contre les ennemis ou bien utilisée pour l'assainissement des locaux, matériels et véhicules qui servent pour l'élevage des animaux domestiques ou encore dans la collecte, le transport, le stockage ou la transformation des produits d'origine animale ou végétale (El Bakouri, 2006).

La réglementation algérienne définit les pesticides comme toute substance ou mélange de substances destinés à repousser, détruire ou combattre les organismes nuisibles, en vue de la protection ou de l'amélioration de la production végétale. Le terme comprend les agents biologiques, les régulateurs de croissance, les correcteurs de carence, les défoliants, les agents de dessiccation, les agents d'éclaircissage ainsi que les substances appliquées sur les cultures avant ou après récolte, pour protéger les produits contre la détérioration durant l'entreposage et le transport (Anonyme, 1987).

2. Composition d'un pesticide

Un pesticide est composé d'un ensemble de molécules comprenant (Gdoura, 2013) :

- Une (ou plusieurs) matière active à laquelle est due, en tout ou en partie, l'effet toxique ;
- Un diluant qui est une matière solide ou un liquide (solvant) incorporé à une préparation et destiné à en abaisser la concentration en matière active. C'est un ensemble d'agents de formulation qui permettent de diluer la matière active pour permettre d'épandre les pesticides plus facilement. Ce sont le plus souvent des huiles végétales dans le cas des liquides, de l'argile ou du talc dans le cas des solides. Dans ce dernier cas le diluant est dénommé charge.
- Des adjuvants qui sont des substances dépourvues d'activité biologique, mais susceptibles de modifier les qualités du pesticide et d'en faciliter l'utilisation.

3. Usage des pesticides

Les pesticides sont utilisés dans plusieurs domaines d'activités pour lutter contre des organismes vivants nuisibles. Il existe six catégories de pesticides selon leur destination de traitement (Clavet et al., 2005), à savoir :

- Les cultures ;
- Les bâtiments d'élevage ;
- Les locaux de stockage des produits végétaux ;
- Les zones non agricoles ;
- Les bâtiments d'habitation ;
- L'homme et les animaux.

L'agriculture est de loin l'activité la plus consommatrice de pesticides. L'usage non agricole ne représente en effet que 12% du marché global (Fillatre, 2011).

4. Classification des pesticides selon leur cible

La classification des pesticides selon leur cible repose sur le type de parasites à contrôler. Ils sont classés en groupes comme suit (OMS, 1991):

- **Les insecticides :** ils sont destinés à détruire ou à repousser les insectes, les tiques et les mites ;
- **Les herbicides :** ils détruisent les végétaux herbacés ou ligneux, ou limitent leur croissance (comme les antigerminatifs et les défanants) ;
- **Les fongicides :** ils désignent les produits s'attaquant aux seuls champignons parasites des cultures à l'exclusion des parasites des animaux et de l'homme ;
- **Les rodenticides :** (raticides et muricides), ils s'attaquent aux rongeurs et autres logomorphes ;
- **Les nematicides :** utilisé surtout dans le traitement des sols pour détruire les vers parasites des parties souterraines des végétaux ou de celles qui sont en contact avec le sol ;
- **Les molluscicides :** destinés à lutter contre les limaces et les escargots ;
- **Les acaricides :** utilisés pour la lutte contre les acariens ;

- **Les avicides :** (corvicides et corvifuges) qui détruisent et éloignent l'ensemble des oiseaux ravageurs des cultures ;
- **Les bactéricides :** destinés à lutter contre les bactéries.

Dans la classification selon la cible, les principales catégories de pesticides retenues sont : les herbicides, les insecticides et les fongicides, et on les définit comme suit :

4.1 Les insecticides

Ce sont principalement des matières organiques de synthèse. L'utilisation de certaines substances minérales ou molécules organiques d'origine naturelle existe toujours mais d'une façon très marginale, c'est le cas de la roténone et des dérivés de la nicotine à titre d'exemple.

Des molécules insecticides très efficaces ont été développées durant la deuxième moitié du XXe siècle. Il s'agit notamment des substances appartenant à la famille des organophosphorés (malathion, diméthoate), des carbamates (aldicarbe, carbofurane) et des pyréthrinoïdes (Kearney et Kaufman, 1988).

Les insecticides peuvent agir sur (INSERM, 2013):

- Le système nerveux (inhibition de l'acétylcholinestérase, ouverture du canal sodium, etc.).
- La respiration cellulaire (inhibition du transport des électrons dans la mitochondrie, etc.).
- La mise en place de la cuticule : ils perturbent les processus de croissance et de développement des insectes, en inhibant la synthése de la chitine qui intervient dans la formation de la cuticule. (Wood et al., 2010).

4.2 Les fongicides

Ces molécules ciblent les différents types de champignons afin de protéger les cultures, les stocks des récoltes ou même les semences. Le mildiou de la pomme de terre ou de la vigne, la rouille ou le charbon sont des maladies cryptogamiques contrôlées grâce

à des fongicides tels que les carbamates (carbendazime, mancozèbe), les triazoles (bromuconazole, triconazole), les dérivés du benzène (chlorothalonil, quintozène) ou les dicarboximides (folpel, iprodione). Il est intéressant de signaler que le soufre et le cuivre demeurent d'excellents fongicides utilisés jusqu'à nos jours (Calvet *et* al., 2005).

Les fongicides peuvent agir différemment sur les plantes (UIPP, 2009). :

- Les perturbateurs de la biosynthèse des acides aminés ou des protéines,
- Les perturbateurs du métabolisme des glucides,
- Les inhibiteurs respiratoires.

4.3 Les herbicides

Ils sont utilisés pour lutter contre les adventices des cultures ou « mauvaises herbes». Ces dernières rentrent en compétition avec les plantes sur la lumière, l'eau, l'espace et les ressources nutritives. Lorsqu'elles sont mêlées aux récoltes, les mauvaises herbes peuvent également être toxiques pour le bétail (renoncules, colchiques et ciguë dans les fourrages secs), donner du goût au lait (achillée, millefeuille) voire rendre l'ensilage dangereux.

Après la deuxième guerre mondiale, les herbicides ont connu un très grand développement. La deuxième moitié du XXe siècle a ainsi connu l'utilisation de nombreuses nouvelles molécules qui étaient trouvées et proposées à l'agriculture. Entre 1950 et 2000 sont apparues les triazines, les urées substituées, les carbamates, les toluidines, les aminophosphonates et les sulfonylurées (Arabet , 2014).

Selon l'Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP, 2009), les herbicides possèdent différents modes d'action sur les plantes :

- Les perturbateurs de la régulation d'une hormone l'auxine principale hormone agissant sur l'augmentation de la taille des cellules ;
- Les perturbateurs de la photosynthèse ;
- Les inhibiteurs de la division cellulaire ;
- Les inhibiteurs de la synthèse de cellulose ;
- Les inhibiteurs de la synthèse des acides aminés.

5. Classification des pesticides selon la nature chimique

Le deuxième système de classification tient compte de la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires.

Les principaux groupes chimiques sont : les pesticides inorganiques, les pesticides organométalliques, et les pesticides organiques.

5.1 Pesticides inorganiques

Ils sont peu nombreux mais certains sont utilisés en très grande quantité comme le soufre ou le cuivre. Ce sont des pesticides très anciens dont l'emploi est apparu bien avant la chimie organique de synthèse. De cette époque ne subsistent aujourd'hui aucun insecticide, un seul herbicide employé en tant que désherbant total (chlorate de sodium) et quelques fongicides à base de soufre et cuivre comme la bouillie bordelaise ($[Cu(OH)_2]x$, $CaSO_4$) (Fillatre, 2011).

5.2 Pesticides organométalliques

Ce sont des fongicides dont la molécule est constituée par un complexe fait d'un métal comme le zinc ou le manganèse et d'un anion organique dithiocarbamate (exemple : mancozèbe avec le zinc, manèbe avec le manganèse) (Fillatre, 2011).

5.3 Pesticides organiques

Ils sont très nombreux et appartiennent à diverses familles chimiques (Tomlin, 2006). Il existe actuellement plus de 80 familles ou classes chimiques dont les plus connues sont : les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes, les triazines, les enzimidazoles et d'autres groupes **(**tels que le dérivé dipiridiniques, organe mercuriale, organocincades, fenoxiacétiques, pyréthrines et les dérivés triaziniques) (Bazzi, 2010).

Les principales familles des insecticides, herbicides et des fongicides sont groupées dans le Tableau I.

Tableau I : Principales familles d'insecticides, de fongicides et d'herbicides (Elbakouri, 2006).

Insecticides	**Herbicides**	**Fongicides**
Minéraux		
Soufre Composés fluorés Dérivés de mercure Dérivé de sélénium Composés à base de silice Quartz, magnésie Huiles de pétrole	Sels de NH_4, de ca, de Fe de Mg, K, Na Sous forme de sulfates, de nitrates Chlorures, chlorates, etc.	Sels de cuivre A base de soufre Composés arsenicaux Huiles minérales
Organiques		
Organochlorés Organophosphorés Carbamates	Phytohormones ; dérivés de l'urée carbamates ; triazines et diazines ; dérivés de pyrimidines ; dérivés de l'oxyquinoleine ; dérivés des thiadiazinescet thiadiazoles	Carbamates et dithiocarbamates Dérivés de benzène dérivés des quinones Amides Benzonitriles Toluidines Organophosphorés
Divers		
Pyréthrinoides de synthèse Produits bactériens Répulsifs	Dicamba Pichlorame Paraquot	Carboxines Chloropicrine Doguanide Formol

6. Caractéristiques physicochimique

Les pesticides sont caractérisés par plusieurs propriétés, qui sont en bref :

6.1 Les propriétés physico-chimiques

6.1.1 La tension de vapeur et volatilisation

La tension de vapeur d'une substance est la pression de vapeur (PV) saturante à l'équilibre thermodynamique des phases solides et liquides de cette substance (Anonyme, 1987). 10^{-2} Pa est la valeur minimale de (PV) qui permet aux pesticides de s'évaporer. Nous citons les organochlorés et le 2,6-dinitroanile qui ont les (PV) les plus élevées. Les azotes, les Thio carbamates ont les valeurs les plus basses. Parmi les facteurs qui influencent la tension de vapeur, il y a :

6.1.1.1 La température

L'augmentation de la pression de vapeur est proportionnelle à la température en raison de l'agitation thermique qui favorisant la catalysation des liaisons moléculaires (Calvet et Barriuso et al., 2005).

6.1.1.2 La composition chimique et la structure moléculaire

La transformation des molécules à l'état gazeux n'est possible qu'après la suppression des liaisons moléculaires qui dépendent progressivement de la température et inversement des fortes liaisons intermoléculaire. L'augmentation de la température de fusion(Tf) et la température d'ébullition (Teb) agissent sur la diminution de la PV (Calvet et Barriuso et al., 2005).

6.1.1.3 Coefficient de henry

Il caractérise l'aptitude d'une substance active en solution à se libérer dans l'air (s'évaporer). Il s'exprime en ($Pa/m^3/mol$). Plus il est élevé, plus le taux de vaporisation augmente et plus le produit sera plus polluant (Calvet et Barriuso et al., 2005).

6.1.2 La solubilité dans l'eau

La solubilité d'un pesticide dans l'eau constitue sa concentration à l'équilibre d'une solution saturée à une température donné (Anonyme, 1987). Elle s'exprime en $mg.L^{-1}$ (Calvet et Barriuso et al., 2005).

La solubilité des pesticides dépend de trois facteurs qui sont :

- **La composition chimique des pesticides :** Dont les pesticides ionisés sont plus solubles que ceux non ionisés.

- **La composition chimique de la phase aqueuse comprenant :** le pH (facteur important ayant une relation réversible entre les pesticides acides et basiques faibles et le pH de la phase aqueuse) et la salinité du sol agissant inversement sur leur solubilité en raison de l'hydratation des ions qui est à l'origine de certaine force des ions alors que la matière organique favorise la solubilité de ces derniers.

- **La température** : La température a un effet positif sur la solubilité des substances dans l'eau. Ainsi, la solubilité des pesticides est généralement faible. Le Tableau II montre leur domaine de solubilité dans l'eau.

Tableau II : Domaines de la solubilité de quelques familles chimiques de pesticides (Calvet et Barriuso et al., 2005):

Domaine de solubilité dans L'eau $mg.L^{-1}$	**famille chimique**
10^{-3} à 10^{-11}	HAP*, PCB*
10^{-4} à 10	Organochlorés, pyrithrinoïdes
10^{-1} à 10^{2}	2,6dinitroaniline, dérivés pyrimidiques
10 à 10^{3}	Azoles, benzamides, urées
10 à 10^{7}	Anilides, carbamates, organophosphorés

***HAP :** hydrocarbure aromatique polycyclique ****PCB :** polychlorobiphényle

6.1.3 Hydrolyse

L'hydrolyse est évaluée par le temps nécessaire à la dégradation de 50% de la substance active dans l'eau, exprimé en jours ou en heures à un pH données (Anonyme, 2010 ; Calvet & Barriuso et al., 2005).

6.1.4 Mobilité

Il s'agit du potentiel de déplacement d'un pesticide dans le sol, Elle désigne aussi le temps nécessaire pour qu'un pesticide se décompose dans le sol (dégradation biologique ou abiotique) (Barret, 2006).

7. Toxicité des pesticides

La toxicité des pesticides dépend d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels on cite la nature de la formulation (solide, liquide ou gaz), les moyens d'applications et d'emploi (pulvérisation, dispersion, etc.), les conditions d'utilisations. Mais le facteur principal qui conditionne la toxicité de ces produits concerne le mode de pénétration : Pénétration digestive, pénétration par voie respiratoire, par voie cutanée (Periquet, 1986).

Les risques de nuisance d'un pesticide ou de leurs métabolites dépendent de plusieurs facteurs comme leurs propriétés toxiques à court ou long terme, leur persistance et mobilité dans les systèmes et leur aptitude à former certaines combinaisons toxiques avec les autres substances chimiques. Aussi, on doit tenir compte des autres propriétés, comme la volatilité, la possibilité d'accumulation, la dégradation, et la potentialité catalytique des pesticides (Vettorazzi et Radaelli-Benbenuti, 1982). Bien que les pesticides soient critique pour l'industrie agricole moderne, certains pesticides couramment utilisés ont été associé à un neurodéveloppement anormal chez les enfants et que les facteurs environnementaux peuvent contribuer fortement à ce risque (Bouchard et al., 2011 ; Janie Shelton et al., 2014). D'autre part, de nombreux pesticides ou biocides sont des perturbateurs endocriniens (PE) avérés ou fortement suspectés, le fœtus et le jeune enfant sont les plus menacés par ces substances (Générations Futures, 2014).

L'exposition aux pesticides affecte négativement le système cardiovasculaire, le système nerveux, les organes des sens, le système respiratoire et la fonction pulmonaire est

réduite. Plusieurs maladies de la peau, incluant la dermatite ont également été rapportées. Des Électroencéphalogrammes anormaux ont été observés dans certaines études sur des travailleurs agricoles exposés aux insecticides organochlorés, organophosphorés et aux carbamates. Certains pesticides peuvent être cancérogènes, initiateurs de tumeurs, promoteurs de tumeurs, tandis que d'autres peuvent être mutagènes. De plus, beaucoup d'entre eux sont apparus également comme étant des immunosuppresseurs puissants (George et Shukla, 2011).

Le nombre de maladies professionnelles listées par la MSA (Mutualité Sociale Agricole) qui sont liées à l'utilisation de pesticides ne cesse de croitre depuis une vingtaine d'années (leucémie et lymphomes par exemple). Les produits phytosanitaires ont donc des propriétés toxiques avérées sur l'homme (Tron et al., 2001; Meeker et al., 2006). Ils peuvent être à l'origine d'intoxications aiguës provoquant des maux de tête, des irritations cutanées, des troubles visuels, des nausées ; ou de pathologies chroniques comme des maladies respiratoires (asthme), des cancers (système urogénital, thyroïde, cerveau, leucémie, pancréas), la maladie de Parkinson, des troubles cardiaques (Fauvelle, 2012).

D'une manière générale, l'OMS (Tron et al., 2001) retient comme facteurs influant sur la toxicité des pesticides pour l'homme :

- la dose ;
- les modalités de l'exposition ;
- le degré d'absorption ;
- la nature des effets de la matière active et de ses métabolites ;
- l'accumulation et la persistance du produit dans l'organisme.

Ces effets toxiques du produit sont eux-mêmes liés à l'état de santé de l'individu exposé. La toxicité des résidus de pesticides est contrôlée par les paramètres suivants :

- **Limite maximale de résidus (LMR) :** teneur à ne pas dépasser dans un produit alimentaire (en mg/kg de produit ou en ppm) ;
- **DL 50 (Dose létale 50) :** quantité de substance nécessaire pour tuer 50% des animaux du lot expérimental (en mg/kg de poids corporel) ;
- **DJA (Dose Journalière Acceptable) :** dose d'un produit qui peut être ingéré quotidiennement par un individu pendant sa vie entière (en mg/kg de p.c) ;

- **DES (Dose sans effet) :** dose la plus élevée d'un produit qui ne provoque aucun effet décelable chez les animaux en expérimentation (en mg/kg de p.c) ;
- **Koe (coefficient de partage carbone organique eau) :** indication sur l'aptitude de la molécule à être absorbée ou désorbée sur la matière organique. Il représente le potentiel de rétention de cette substance active sur la matière organique.

Il est tout de même nécessaire de noter que les études sur la toxicité des pesticides se heurtent à des difficultés majeures qui rendent les certitudes difficiles voire impossible à obtenir dans beaucoup de cas. Parmi ces difficultés on cite (Remane, 2017):

- La multi exposition à un grand nombre de polluants ;
- L'existence de populations à risque ;
- L'existence de l'effet de cumul et de synergie entre les polluants ;
- Le caractère multifactoriel des cancers ;
- Des temps de latence importants entre l'exposition et le déclenchement d'effets ;
- Des effets possibles à de très faibles doses, à la limite des seuils de détection ;
- Des connaissances sanitaires et toxicologiques souvent imparfaites.

8. Les pesticides en Algérie

En Algérie, la fabrication des pesticides a été assurée par des entités autonomes de gestion des pesticides: Asmidal, Moubydal. Mais avec l'économie de marché actuelle, plusieurs entreprises se sont spécialisées dans l'importation d'insecticides et divers produits apparentés. Ainsi, environ 100 produits phytosanitaires sont homologués en Algérie, dont une quarantaine de variétés sont largement utilisées par les agriculteurs. C'est la loi n° 87-17 du 1er août1987, relative à la protection phytosanitaire, qui a instauré au départ les mécanismes qui permettent une utilisation efficace des pesticides (Bouziani, 2007).

9. Législation

Parce que les pesticides sont des substances chimiques toxiques et donc dangereuses, l'ordre publique exige que la loi détermine à leur sujet des procédures d'approbation, enregistrement, classement, étiquetage, emballage, fabrication, importation, exportation,

commercialisation, publicité, vente, fourniture, transport, stockage, disponibilité, utilisation et destruction.

Les règlements varient d'un pays à l'autre. Certains aspects de la règlementation font l'objet de lois, avec des sanctions en cas de violation. D'autres aspects font l'objet de codes de pratique, ou même d'accords volontaires.

En Algérie, la promulgation de la loi n°87-17 du 01/08/1889, relative à la protection phytosanitaire a permis d'édicter les mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole.

L'homologation des produits phytosanitaires a été instituée en Algérie par les décrets exécutifs suivants :

- Décret exécutif n° 10-69 du 15 Safar 1431 correspondant au 31 janvier 2010, fixant les mesures applicables lors de l'importation et l'exportation de ces produits (Journal officiel, 2010).
- Décret exécutif n ° 14-366 du 22 Safar 1436 correspondant au 15 décembre 2014 fixant les conditions et les modalités applicables en matière de contaminants tolérés dans les denrées alimentaires (Journal officiel, 2014).
- Décret présidentiel n° 06-206 du 11 Joumada El Oula 1427 correspondant au 7 juin 2006 portant ratification de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, adoptée à Stockholm le 22 mai 2001 (Journal officiel, 2006).

La législation doit tenir pleinement en compte les besoins locaux, sociaux et des conditions économiques, les niveaux d'alphabétisation, les conditions climatiques et la disponibilité d'équipements d'application de pesticides appropriés et d'équipements protecteurs individuels.

Chapitre II
Traitement des pesticides par adsorption

1. Définition

L'adsorption est un phénomène physico-chimique par lequel des molécules présentes dans un effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide (Robert, 1989).

Le terme générique « adsorption » désigne l'accumulation d'espèces chimiques à l'interface entre une phase liquide ou une phase gazeuse appelée adsorbât et des surfaces solides appelées adsorbant (Piccolo et al., 1982 ; Kast et al., 1987).

Ce phénomène dépend des propriétés physicochimiques de l'adsorbât (Scavetta, 2001). Il provient de l'existence de forces à la surface du solide et de forces non compensées, qui sont de nature physique ou chimique (Benselka, 2015).

2. Types d'adsorption

Selon les énergies de liaisons (covalentes, ioniques, liaison hydrogène ou Van der Waals) mises en jeu, deux types d'adsorption peuvent être distingués l'adsorption physique et l'adsorption chimique (Atkins, 1994 ; Reungoat, 2007).

2.1 Adsorption chimique (ou chimisorption)

C'est une adsorption du type chimique, qui résulte des forces de liaison de nature chimique entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules de soluté, avec mise en commun ou transfert d'électrons, il y a donc des ruptures et des créations de liaisons chimiques en surface de type covalentes entre le réactif et les sites actifs de l'adsorbant (Choumane, 2015).

Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie de transformation élevée (Robert, 1989).

Le processus est moins réversible et même parfois irréversible. Les énergies mises en jeu sont supérieur à 40 $KJ.mol^{-1}$(Noll et al., 1992).

2.2 Adsorption physique (ou physisorption)

Contrairement à la chimisorption, l'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (Figure 1) (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mole (Juste, 1995 ; Silver et al., 1987).

Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (Rives, 2001; Malherbe et al., 1997).

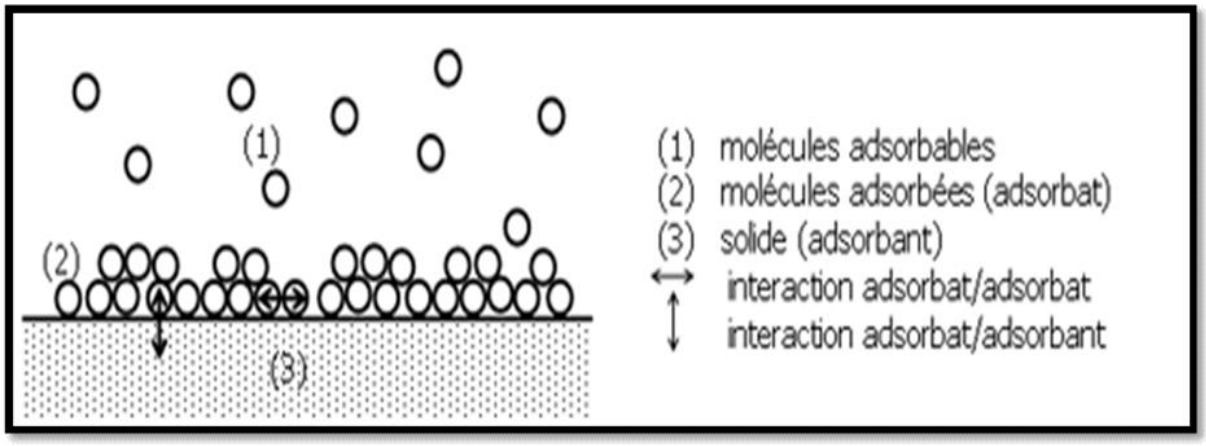


Figure 1: Schéma de l'adsorption physique (Koller, 2005).

La force des liaisons créées peut être estimée par l'énergie d'adsorption qui est comprise entre 5 et 40 $kJ.mol^{-1}$ ce qui est considéré comme faible. Ces interactions sont peu spécifiques et réversibles et la désorption peut être totale. L'adsorption physique est rapide, n'entraînant pas de modification des molécules adsorbées et généralement limitée par les phénomènes de diffusion (Choumane, 2015).

La distinction entre les deux types d'adsorption n'est pas toujours facile. En effet, les énergies mises en jeu dans les physisorptions fortes rejoignent celles qui interviennent dans les chimisorption faibles (Benselka, 2015).

Les différences entre la chimisorption et la physisorption sont citées dans le Tableau III.

Tableau III : Les différences principales entre les deux types d'adsorption.

Propriétés	**Adsorption physique**	**Adsorption chimique**
Type de liaison	Physique	Chimique
Chaleur d'adsorption	≤ 6 Kcal/mole	> 10 Kcal/mole
Température du processus	Favorisée par abaissement de la température	Favorisée par accroissement de la température
Désorption	Facile	Difficile
Spécificité	Non spécifique	Spécifique (dépend de la nature des liens)

3. Application de l'adsorption

L'adsorption est utilisée dans l'industrie, dans des domaines très variés tels que la pétrochimie, la chimie, la pharmacie et l'environnement (Reungoat, 2007).

Les nombreuses applications techniques de l'adsorption résultent de trois caractéristiques qui la différencient des autres procédés de séparation, à savoir :

- La rétention de très petites particules, comme par exemple les colloïdes;
- La rétention des composants à très faible concentration, par exemples des impuretés ou des molécules et ions métalliques qui confèrent au produit couleurs, odeurs, ou saveurs désagréables, voire une toxicité;
- La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange.

Parmi les applications, on cite :

- Le séchage, purification et désodorisation des gaz;
- Le raffinage des produits pétroliers;
- La catalyse de contact;
- La déshumidification et la désodorisation de l'air;
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation;
- La décoloration des liquides;

- La chromatographie gazeuse (Sedira, 2013).

Les applications industrielles utilisent en général uniquement les propriétés d'adsorption physique des matériaux car ce phénomène ne modifie pas la structure moléculaire de l'adsorbat. De plus, il est réversible, ce qui permet de récupérer la molécule adsorbée et ainsi de régénérer l'adsorbant (Reungoat, 2007).

4. Les principaux adsorbants

Les matériaux adsorbants sont des solides microporeux développant des surfaces spécifiques plus ou moins importantes. C'est sur cette surface que certains composés et polluants présent dans un fluide vont se transférer (Koller, 2001., Robert, 1999., Ruthven 1984).

Les principaux adsorbants employés dans les applications industrielles sont les charbons actifs, les argiles (terres décolorantes), les zéolithes, les gels de silices et les alumines activées (Reungoat, 2007).

4.1 Les charbons actifs

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Il est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (dégagement des cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques μm de dimension, soit sous forme de grain. Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : à la vapeur, thermique et chimique. (Bouziane, 2007). Les caractéristiques du charbon actif sont décrites dans le Tableau IV.

Tableau IV : Principales caractéristiques du charbon activé (Benefield et al., 1982).

Caractéristique	Description
Diamètre Effectif	Poudre : 8-9 μm ; granules : 0,55 -1,05 μm. Augmentation du taux d'adsorption et des pertes de charge lorsque la grosseur des grains diminue.
Surface d'adsorption	De 850 à 1500 m^2/g. Plus cette surface est grande plus le charbon activé est efficace.
Nombre de mélasse	Il est associé à la capacité du charbon activé d'absorber les impuretés de masses moléculaires élevées.
Densité brute	Evolution du volume de charbon activé utilisé.

L'expérience montre que les charbons actifs sont des adsorbants à très large spectre : la plupart des molécules organiques se fixent à leur surface, les moins retenues étant les molécules les plus polaires et celles linéaires, de très faible masse molaire (alcools simple, premiers acides organiques, etc.). En revanche, les molécules peu polaires, génératrices de goût et d'odeur, et les molécules à haute masse molaire sont, pour des raisons différentes, bien adsorbées sur les charbons (Bouziane, 2007).

4.2 Les argiles

Du point de vue minéralogique, les argiles sont des roches sédimentaires, silicoalumineuses, constituées de variétés de minéraux très fins. Les constituants fondamentaux de cette roche sont les phyllosilicates en plus de divers autres composés tels que le quartz, les carbonates, les oxydes, etc. (Scrano, 1997; Perrat, 2001).

4.3 La zéolithe

Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO_4 et AlO_4, de formule globale (AlO_2M, $nSiO_2$) où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes différentes par la valeur de n et la structure cristallographique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés

adsorbantes. Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas 900 m^2 /g mais, ils présentent une bonne sélectivité (Fiani, 2000).

4.4 L'alumine activée

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse flash du trihydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3$ qui conduit à un produit de composition approximative Al_2O_3, 0.5 H_2O, possédant une structure poreuse résultant du départ de molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupements Al-OH, et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles. Ils ont une surface spécifique de 300 m^2 /g (Barrer, 1978).

4.5 Le gel de silice

Les gels de silice sont préparés à partir de $Si(OH)_4$ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice. Les groupements Si- OH conduisent à des liaisons hydrogène.

Il existe deux types de gels de silice : les microporeux, assez hydrophiles, et les macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom l'indique. Leur surface spécifique peut être de 300 à 800 m^2 /g (Chanakya, 1986).

4.6 Les biosorbants

4.6.1 Les biomasses bactériennes

Les biomasses bactériennes sont générées en quantités relativement importantes comme sous produits de l'industrie agro-alimentaires. Les bactéries ont un rapport de surface/volume élevé, ce qui est une caractéristique qui tend à augmenter leur capacité d'adsorption (Mullen et al., 1989).

4.6.2 Les algues

Leur paroi est composée de fibres, emprisonnées dans une matrice amorphe. Les principaux composants de cette structure sont riches en groupements carboxyle, hydroxyle, amine, phosphate et thiol qui augmentent leur capacité d'adsorption (Brady et al., 1994).

4.6.3 Les champignons

L'architecture de la paroi est complexe car elle est composée de plusieurs couches mettant en jeu différents constituants tels que la chitine, les protéines, les chitosanes et des glucides permettent la rétention des polluants (Brierley, 1991). La richesse de ces composants en groupements fonctionnels est l'un des atouts majeurs des champignons dans le domaine de la bio-sorption (Guibal et Roulph, 1990).

5. Mécanisme d'adsorption

Les principaux mécanismes physico-chimiques responsables de la rétention des métaux lourds (ainsi que d'autres atomes ou molécules) dans les solides/ matrices d'adsorption sont les suivants (Deschamps et al., 2006) **:** Adsorption, précipitation, substitution (Figure 2).

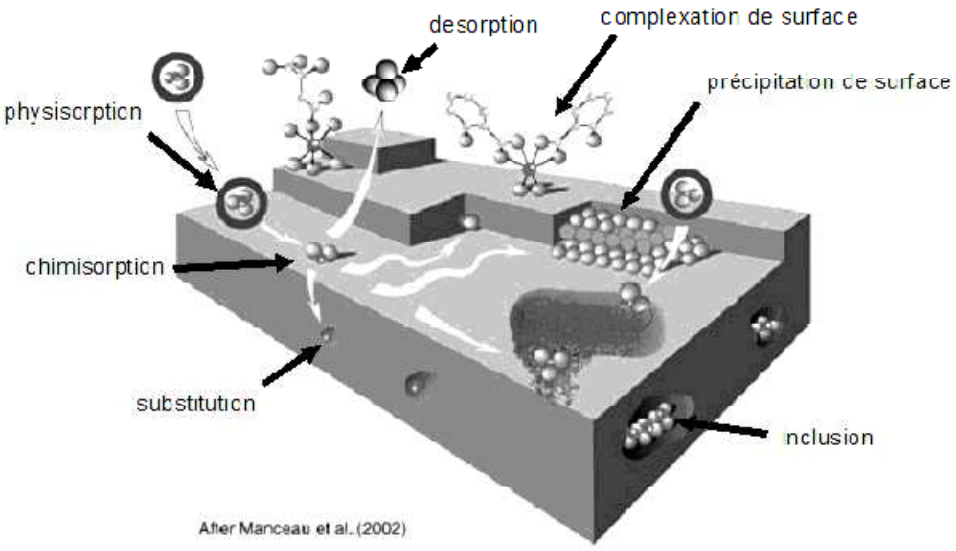


Figure 2 : Principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à l'interface solide/liquide (Manceau et al., 2002)

Un élément métallique retenu à la surface d'un matériau (physisorption, complexation, précipitation, chimisorption) sera plus rapidement mis en solution et donc présentera davantage de risques de toxicité que s'il est inséré dans le réseau cristallin du matériau (Benard, 2003).

L'effet de compétition sur les sites de surface entre métaux ou entre métaux et cations majeurs peut aussi jouer un rôle important, par exemple, il a été mis en évidence que la présence de calcium réduit fortement la rétention du fer et du manganèse sur les zéolites (Jacobs et al., 2004)**.**

6. Facteurs influencent l'adsorption

6.1 Le pH

Le pH est un paramètre prédominant qui a un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides ou moléculaires (Ouakouak et Youcef, 2013).

6.2 La température

L'adsorption est un processus exothermique et par conséquent son déroulement doit être favorisé par un abaissement de température (Ramesh et al., 2005) .

6.3 Facteurs caractérisant l'adsorbat

Toutes les substances ne sont pas adsorbables au même titre. La capacité de rétention d'un polluant est en fonction :

- De l'énergie de liaison de la substance à adsorber;
- De la structure et la taille des molécules : un haut poids moléculaire réduit la diffusion et par conséquent la fixation de l'adsorbat ;
- De sa solubilité: moins une substance est soluble, mieux elle est adsorbée ;
- De sa concentration (Sedira, 2013).

6.4 Facteurs caractérisant l'adsorbant

Un solide adsorbant est caractérisé par des propriétés physicochimiques, mécaniques et géométriques, les plus importantes sont les propriétés géométriques.

- **La surface spécifique**

La surface spécifique est une mesure essentielle de la capacité de sorption de l'adsorbant. Elle désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant. Une surface spécifique est d'autant plus grande, si l'adsorbant est plus divisé.

- **La structure de l'adsorbant**

L'adsorption d'une substance croit avec la diminution de la taille des particules et les dimensions des pores de l'adsorbant. Mais si le diamètre des pores est inférieur au diamètre des molécules, l'adsorption de ce compose sera négative, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour le composé. La distribution des tailles des pores joue un rôle important dans la cinétique globale du processus d'adsorption.

6.5 La polarité

Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, et les solides apolaires adsorbent les corps apolaires. L'affinité pour les substrats croit avec la masse moléculaire de l'adsorbat.

L'adsorption est plus intense pour les corps qui ont relativement plus d'affinité pour le soluté que pour le solvant (Robert et Dardel, 1988).

7. Les isothermes d'adsorptions

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

L'isotherme d'adsorption est la courbe liant, à une température fixée, la quantité de Produit adsorbée par masse initiale d'adsorbant (Q) à la concentration restant en phase

fluide après obtention de l'équilibre d'adsorption (Ce). Chaque point d'une isotherme est obtenu expérimentalement avec la formule suivante :

$$Qe = \frac{(C0 - Ce)\ V}{mCA} \quad \text{……} \quad (1)$$

Où :

- Qe : est la quantité d'espèce adsorbée par masse d'adsorbant ((mg). g^{-1}CA).
- Ce : est la concentration résiduelle de l'espèce en solution à l'équilibre ((mg). L^{-1}).
- $C_{0\,:}$ est la concentration initiale de l'espèce en solution ((mg). L^{-1}).
- V : est le volume de solution introduit au départ (L).
- mCA : est la masse initiale de charbon actif (g).

L'intérêt de l'isotherme d'adsorption pour un système adsorbant/adsorbat est multiple. Elle permet aussi d'avancer des hypothèses sur le mode d'adsorption, en effet, son allure est représentative de certains phénomènes mis en jeu : adsorption monocouche ou multicouches. Interactions latérales entre molécules ou non (Benhamed, 2015).

7.1 Isotherme de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse.

Nous résumons ci-dessous ses principales caractéristiques.

A une température constante, la quantité adsorbée Q est liée à la capacité maximale d'adsorption Qm, à la concentration à l'équilibre Ce du soluté et à la constante d'affinité K par l'équation :

$$\frac{Q}{Qm} = \frac{KCe}{1+KCe} \quad \text{……} \quad (2)$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Qm} + \frac{1}{K.Qm} * \frac{1}{Ce} \quad \text{……} \quad (3)$$

En portant 1/Q en fonction de 1/Ce on obtient une droite de pente 1/KQm et d'ordonnée à l'origine 1/Qm, cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation Qm et K.

Parmi les caractéristiques de l'isotherme de Langmuir, on peut citer sa simplicité et le fait que les paramètres Qm et K qu'il permet d'évaluer, ont un sens physique.

La valeur de K est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide ; la valeur de Qm exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche mono-moléculaire.

Cette simplicité est une conséquence des hypothèses restrictives qui permettent d'établir ce modèle (Langmuir, 1918)

L'équivalence de tous les sites d'adsorption et la non-dépendance de l'énergie d'adsorption avec le taux de couverture de la surface. Ceci se traduit par l'absence des interactions entre des espèces adsorbées et adjacents sur la surface.

7.2 Isotherme de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles (Freundlich, 1932).

Elle se présente sous la forme :

$$Q = Kf\ C^{\frac{1}{n}} \quad \text{..... (4)}$$

Où :

- Q : Quantité adsorbée par gramme du solide.
- Ce : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption.
- Kf et 1/nf : constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique (Tatsumi et al., 1989) **:**

$$\ln Q = \ln Kf + \frac{1}{n}\ln Ce \quad (5)$$

En traçant Ln Q en fonction de Ln Ce, on obtient une droite de pente 1/nf et d'ordonnée à l'origine Ln Kf.

7.3 Isotherme d'Elovich

La relation d'Elovich (1962) diffère de celle de Langmuir au sujet de l'évolution des sites d'adsorption. Le nombre de site disponible varie dans ce modèle de manière exponentielle au cours de l'adsorption, ce qui implique une adsorption en plusieurs couches. L'isotherme d'Elovich s'exprime par (Saleh, 2012):

$$\frac{Qe}{Qm} = K.Ce.e^{(\frac{Qe}{Qm})} \quad (6)$$

La linéarisation de l'équation donne :

$$\ln\left(\frac{Qe}{QCe}\right) = \ln\left(\frac{K}{Qm}\right) + \frac{Qe}{Qm} \quad (7)$$

- Qm ($mg.g^{-1}$) : c'est la quantité maximale adsorbée par unité de masse de l'adsorbant.
- K ($L.mg^{-1}$) : c'est la constante d'adsorption d'Elovich liée à l'affinité des sites de surface avec l'adsorbat.

7.4 Isotherme de Temkin

L'isotherme de Temkin tient compte du fait que la chaleur d'adsorption de l'ensemble des molécules de la couche de recouvrement diminue linéairement avec le recouvrement en raison de la diminution des interactions adsorbant-adsorbat. L'adsorption est caractérisée par une distribution uniforme des énergies de liaison en surface. L'isotherme de Temkin est exprimée sous la forme (Saleh, 2012):

$$Qe = \left(\frac{RT}{bt}\right).\ln(K_t.\ Ce) \quad (8)$$

Ou sous la forme linéaire :

$$Qe = B1\ln Kt + B1\ln nce \quad \text{.....(9)}$$

- Avec B**1** = RT/ bt (J/mol) : la constante de Temkin relative à la chaleur de sorption.
- Kt ($L.g^{-1}$) : la constante d'équilibre d'adsorption correspondant à l'énergie de liaison maximale.

Matériel et méthodes

Rappelons que l'objectif du présent travail est l'étude de l'adsorption de deux pesticides (abamectine et deltaméthrine) sur quelques biomasses bactériennes sèches, et ce, afin d'apprécier la capacité de ces dernières à diminuer la concentration des deux pesticides à l'étude présents en solution.

1. Matériel

1.1 Les pesticides utilisés

Les deux pesticides utilisés (abamectine et deltaméthrine) nous ont été fournis par l'unité de production ALPHYT de la société Algérienne des phytosanitaires : c'est une filiale du groupe Asmidal, elle a été crée le 02 septembre 2003, elle a pour vocation la formulation, la commercialisation et le développement des produits phytosanitaires. Les deux pesticides se présentent sous forme de poudre cristalline inodore et incolore.

1.1.1 La deltaméthrine

La deltaméthrine intervient comme matière active (famille des pyréthrinoïdes) pour la préparation d'insecticides à usages agricole, vétérinaire et ménager (Bavoux et al., 2007). Elle est de formule chimique brute : $C_{22}\ H_{19}\ Br_2\ NO_3$; sa structure chimique est représentée dans la Figure 3.

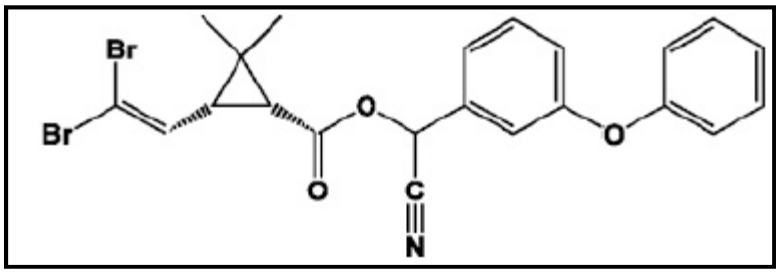


Figure 3 : Structure chimique de la molécule de la deltaméthrine (Bavoux et *al.*, 2007).

Les propriétés physico-chimiques de la deltaméthrine sont citées dans le Tableau V.

Tableau V : Propriétés physico-chimiques de la deltaméthrine (INRS, 2007).

Nom substance	Détails	
Deltaméthrine	Pureté	□ 98% de matière active
	Formule moléculaire	C_{22} H_{19} Br_2 NO_3
	Poids moléculaire	505,2
	Etat physique	Poudre cristalline
	Densité	0,55 Kg/dm^3 à 25°C
	Solubilité dans les solvants	Soluble dans la plupart des solvants pétroliers ou organiques
	Solubilité dans l'eau	0,2µg.L^{-1}

1.1.2 L'abamectine

L'abamectine est une substance active de produit phytosanitaire (ou produit phytopharmaceutique, ou pesticide), qui présente un effet insecticide, acaricide et nématicide. C'est un mélange de plusieurs substances chimiques de la famille des avermectines, sa structure chimique est illustrée dans la Figure 4.

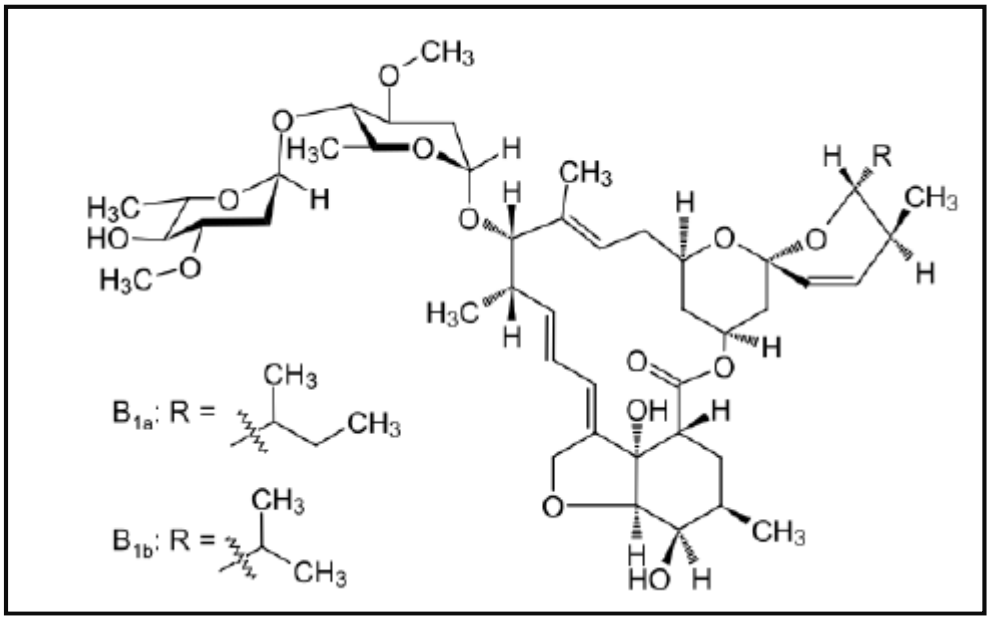


Figure 4 : Structure chimique de la molécule d'abamectine **(**Jargot et al., 2013).

Les propriétés physico-chimiques de la molécule d'abamectine sont citées dans le Tableau VI.

Tableau VI : Propriétés physico-chimique de l'abamectine (INRS, 2013).

Nom substance	**Détails**	
Abamectine	Pureté	75%
	Formule brute	Avermectine B1a : $C_{48}H_{72}O_{14}$ [Isomères] 873,07875 g·mol^{-1} Avermectine B1b : $C_{47}H_{70}O_{14}$ [Isomères] 859,052132 g·mol^{-1}
	Etat physique	Poudre blanche inodore, lipophile
	Solubilité dans les solvants	Soluble dans les solvants organiques.
	Solubilité dans l'eau	Peu soluble

1.2 Le solvant utilisé

Les deux pesticides étudiés ont la caractéristique d'être soluble dans des solvants organiques, notre choix s'est porté sur l'éthanol à 96% (v/v) (formule chimique dans la Figure 5), grâce à ses propriétés physico-chimiques (Annexe II) , ainsi qu'à la disponibilité au niveau du laboratoire pédagogique de microbiologie de l'UMMTO.

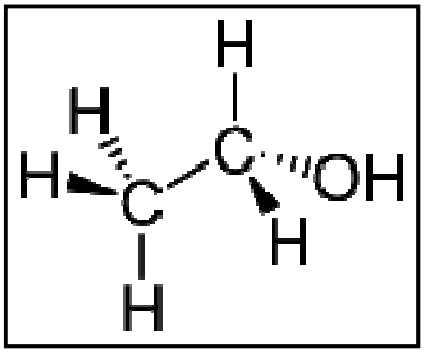


Figure 5 : Structure chimique de l'éthanol (Saihia, 2014).

1.3 Souches microbiennes utilisées

L'adsorption des deux pesticides est testée sur des souches référenciées appartenant à l'American Type Culture Collection (ATCC). L'ensemble des souches bactériennes sont citées dans le tableau suivant (Tableau VII):

Tableau VII : Tableau descriptif des différentes bactéries utilisées pour le test de l'adsorption

Souches bactériennes		**Type de GRAM**	**Provenance**
Souches référenciées	*Escherichia coli ATCC 25922*	Gram négatif	**Laboratoire pédagogique de microbiologie de l'UMMTO**
	Staphylococcus aureus ATCC 43300	Gram positif	
	Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853	Gram négatif	

1.4 Milieux de culture utilisés

L'ensemble des milieux de cultures utilisés sont cités dans le Tableau qui suit (Tableau VIII), leur composition est décrite dans l'annexe I **:**

Tableau VIII : Tableau descriptif des milieux de cultures utilisés.

Milieux de culture	Utilisation	Provenance
Gélose nutritive	Culture des souches bactériennes	laboratoire CondaPronadisa, Espagne
Gélose Muller Hinton (MH)		laboratoire CondaPronadisa, Espagne
Milieu liquide : Brain Heart Infusion Broth (BHIB)	Enrichissement des souches bactériennes	laboratoire CondaPronadisa, Espagne

1.5 Appareillage

L'appareillage utilisé est cité dans le tableau suivant :

Tableau IX : Les appareilles utilisés.

Appareillage	Source
Autoclave	WEBECO. Allemagne.
Bain Marie	MEMMERT. Allemagne.
Réfrigérateur	ENIEM. Algérie.
Spectrophotomètre UV-Visible	UV mini-1240 SHIMADZU. Japon.
Etuve	BINDER. Allemagne.
Agitateur à barreau magnétique chauffant	GARHARDT. Allemagne.
Balance de précision	KERN PCB. Allemagne.
Centrifugeuse	SIGMA. Allemagne.

2. Méthodes

2.1 Culture des souches microbiennes

2.1.1 Revivification des souches dans le milieu BHIB

Les souches microbiennes utilisées ont été revivifiées dans un milieu de culture liquide ; le Brain Heart Infusion Broth (BHIB) et ce afin de pouvoir les utiliser, pour cela un repiquage dans des tubes contenant 10 ml de BHIB a été effectué à partir des milieux de conservation des souches (gélose nutritif), ces tubes sont ensuite incubés à 37°C pendant 24h.

2.1.2 Ensemencement des milieux de cultures

Afin d'obtenir une quantité importante en biomasse microbienne, on a opté pour la méthode d'ensemencement par inondation, qui consiste à Pipeter quelques millilitres des tubes contenants les souches bactériennes revivifiés, et inonder toute la surface des boites de pétries contenant le milieu MH ou de la GN.

Retirer le surplus, puis incuber les boites dans l'étuve à 37°C pendant 72h jusqu'à la formation d'un tapis épais.

2.1.3 Récupérations et séchage de la biomasse

Après que le tapis se soit formé, on a procédé à la récupération de la biomasse : toute la surface des boites de pétries a été raclée, la biomasse récupérée a été mise dans des boites de pétri en verre puis mise à l'étuve à 37°C.

Après quelques jours, on a raclé la biomasse séchée qu'on a conservée dans des boites bien scellées à température ambiante.

2.2 Etude de l'adsorption de la deltaméthrine et de l'abamectine par les souches microbiennes sèches

2.2.1 Etablissement du spectre d'absorption des deux pesticides dans le domaine de l'UV-Visible

Dans le but de déterminer, pour chacun des deux pesticides, la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorption dans le domaine de l'UV-Visible on a procédé à l'établissement de leur spectre d'absorption comme suit : Une quantité bien précise de chacun des deux pesticides (0,0012 g) a été introduite séparément dans 2 béchers de 100 mL, contenant 30 mL d'éthanol (la concentration des solutions obtenues est de 0,04 $g.L^{-1}$). Les deux solutions obtenues ont été mises sous agitation magnétique pendant environ 15min, pour assurer la solubilisation complète des deux pesticides et enfin soumises à un balayage avec un spectrophotomètre à UV-Visible, on a utilisé comme blanc le solvant éthanol.

2.2.2 Réalisation d'un témoin négatif

Pour le témoin négatif, on a préparé une solution de chaque pesticide (l'une pour l'abamectine, l'autre pour la deltaméthrine), en pesant 0,01 g de pesticide et en l'introduisant dans 250 mL d'éthanol.

Chaque solution a été mise sous agitation magnétique pendant 3heures afin de l'homogénéiser, des volumes de 10 mL ont été prélevé chaque 10 min et ont été soumis à une analyse par spectrophotométrie à la longueur d'onde correspondant à l'adsorption maximale de chaque pesticide. On a utilisé le solvant éthanol comme blanc.

2.2.3 Réalisation d'un témoin positif

Pour le témoin positif, on a utilisé le charbon actif comme adsorbant, car il possède un large spectre d'adsorption de différents polluants et il est l'adsorbant le plus utilisé en industries. Pour ce faire, on a préparé une solution de chaque pesticide d'une concentration de 0,04 $g.L^{-1}$ (0,01g de pesticide dans 250 mL d'éthanol).

Pour chaque solution de pesticide on a ajouté 0,125 g de charbon actif, les solutions obtenues on été mises sous agitation magnétique à 50 rpm pendant 3h. Des prélèvements de 10 mL on été effectués chaque 10 min.

Les échantillons prélevés ont été centrifugés à 3000 tr/min pendant 5 min, afin d'éliminer le charbon actif. Les échantillons de surnageant obtenus pour les deux pesticides testés, ont été soumis à une analyse par spectrophotométrie à la longueur d'onde correspondant à l'absorption maximale de chaque pesticide.

2.2.4 Réalisation des courbes étalons

On a préparé pour chaque pesticide des solutions à différentes concentrations :

0,01 $g.L^{-1}$; 0,02 $g.L^{-1}$; 0,05 $g.L^{-1}$; 0,1 $g.L^{-1}$; 0,2 $g.L^{-1}$ et 0,5 $g.L^{-1}$.

Ces dernières ont été soumises à une analyse par spectrophotométrie à la longueur d'onde correspondant à l'absorption maximale de chaque pesticide. Une courbe étalon a été établie pour chacun des deux pesticides en portant sur l'axe des abscisses les différentes valeurs de concentration massiques et sur l'axe des ordonnées les valeurs de DO correspondantes.

2.2.5 Etude de l'interaction des pesticides avec les biomasses microbiennes sèches

.Des quantités de 0,01 g de chaque pesticide ont été pesées et mélangées avec 250 mL d'éthanol.

On a ajouté à chaque solution de pesticide 0,125 g de biomasse microbienne, les solutions obtenues ont été mises sous agitation à 50 rpm pendant 3h. Des prélèvements de 10 mL sont effectués chaque 10 min.

Les échantillons obtenus ont été centrifugés à 500 tr/min pendant 5 min afin d'éliminer la biomasse. La DO des échantillons de surnageant obtenus pour les deux pesticides testés, a été déterminée par spectrophotométrie à la longueur d'onde correspondant à l'absorption maximale de chaque pesticide. Le solvant éthanol a été utilisé comme blanc.

2.2.6 Méthodes de calcules

Dans le but de calculer la concentration résiduelle des deux pesticides on a utilisé les deux courbes d'étalonnages obtenus lors du dosage de l'abamectine et de la deltaméthrine (Annexe III, Annexe IV).

Résultats et discussion

I. Résultats et discussion

1. Résultats des spectres d'absorption des deux pesticides dans le domaine de l'UV-Visible

1.1 Spectre d'absorption de l'abamectine

La Figure 6 illustre le spectre d'absorption de l'abamectine obtenu après avoir réalisé un balayage avec un spectrophotomètre UV-Visible.

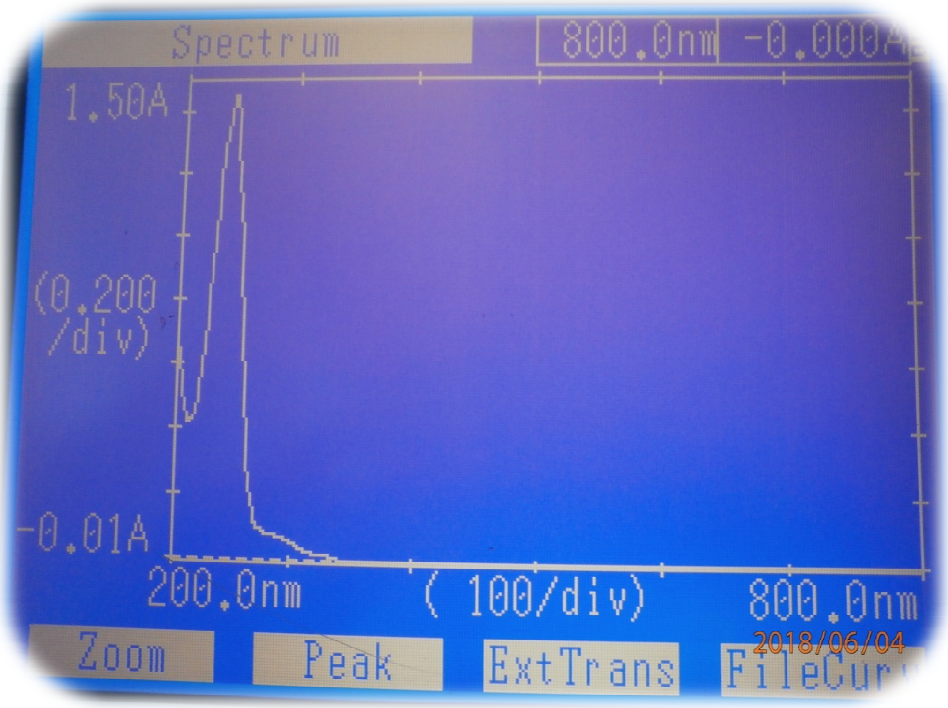


Figure 6 : Spectre d'absorption de l'abamectine dans le domaine de l'UV-Visible.

Le résultat obtenu par l'analyse spectrophotométrique de la solution d'abamectine montré dans cette Figure, indique que l'abamectine absorbe à des langueurs d'onde inferieures à 300 nm, le pic d'absorption maximale est apparu à la longueur d'onde 245 nm. Ce résultat corrobore ceux publiés dans d'autres études. Ainsi, Manli et al., (2017) en développant des nanoparticules fonctionnalisées d'abamectine poly (acide lactique) pour améliorer la rétention foliaire, ont utilisé la longueur d'onde de 245nm pour la mesure de l'absorbance des solutions d'abamectine.

De même, d'après les travaux de Juan et al., (2008), qui ont réalisé leur étude sur la photo-dégradation de l'abamectine, l'absorbance de l'abamectine est maximale à la longueur d'onde de 245 nm.

La molécule d'abamectine absorbe à 245 nm grâce à la présence des fragments diènes aux carbones 8 à 11 de la molécule. (campbell, 2012)

1.2 Spectre d'adsorption de la deltaméthrine

Un balayage spectral a été effectué pour la solution de la deltaméthrine avec un spectrophotomètre UV-Visible. Le spectre d'adsorption obtenu est illustré dans la Figure 7.

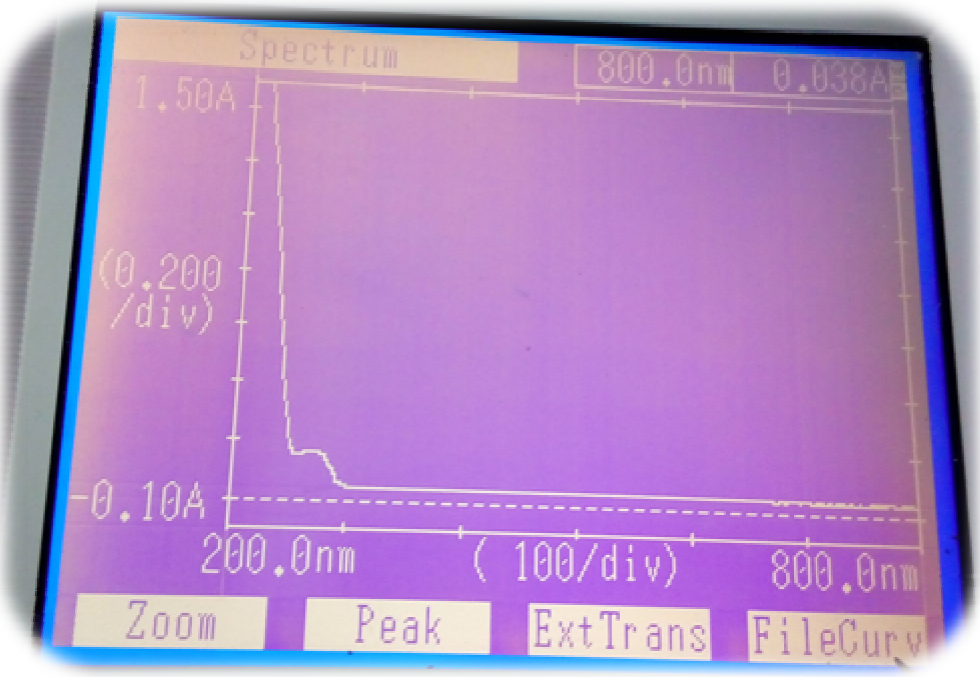


Figure 7 : Spectre d'absorption de la deltaméthrine dans le domaine de l'UV-Visible.

L'analyse spectrophotométrique de la solution de la deltaméthrine (Figure 7), a révélé que la deltaméthrine absorbe dans le domaine de l'UV, la valeur maximale d'absorption est apparu à la longueur d'onde 268 nm.

La valeur maximale d'absorption de la deltaméthrine obtenue dans notre étude expérimentale (268 nm) avoisine celles retrouvées dans la littérature, la différence trouvée peu être liée au degré de pureté de la deltaméthrine utilisée. Ainsi, dans les travaux effectués par Yang et al., (2008), sur la caractérisation partielle du métabolisme de la

deltaméthrine catalysée par la chymotrypsine, l'absorption spectrophotométrique maximale de la deltaméthrine était de 264 nm. Les résultats des travaux de Xiong et al., (2014), sur la dégradation de la deltaméthrine catalysée par la trypsine, ont montré que le pic d'absorption de la deltaméthrine est d'environ 264 nm. Par ailleurs, selon Pawar et al., (2016), qui ont effectué leurs travaux sur la biodégradation de la deltaméthrine en utilisant des bactéries indigènes isolées du sol contaminé, la longueur d'onde maximale d'absorption de la deltaméthrine est de 271nm.

2. Résultats des témoins

2.1 Les témoins négatif

Les Figures 8 et 9 montrent les résultats des témoins négatifs réalisés pour les deux pesticides (deltaméthrine et abamectine).

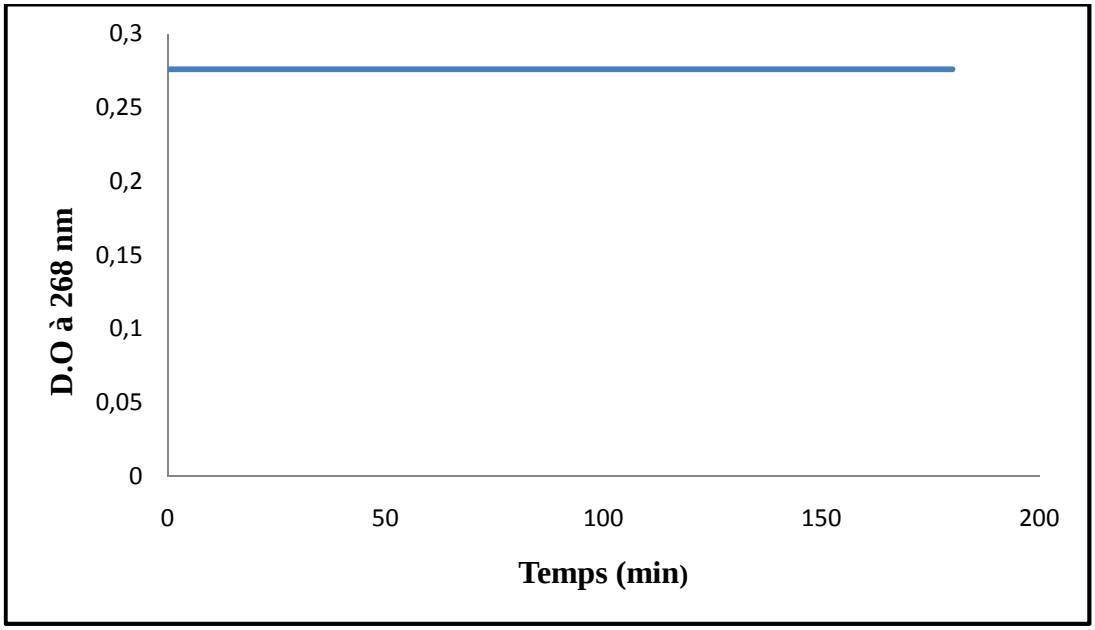


Figure 8 : Evaluation de l'absorbance de la deltaméthrine en fonction du temps (témoin négatif).

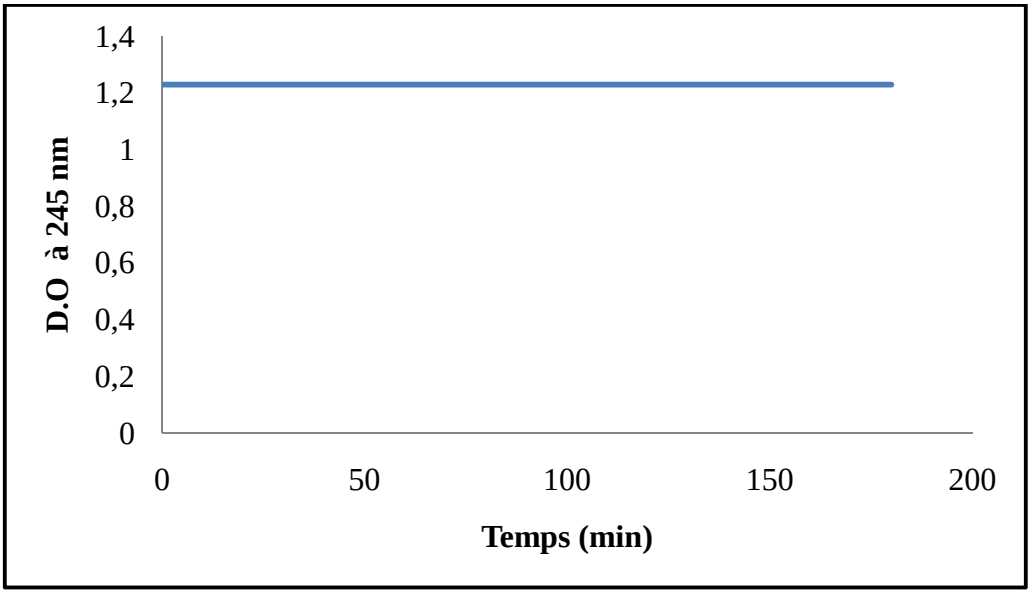


Figure 9 : Evaluation de l'absorbance de l'abamectine en fonction du temps (témoin négatif).

Les résultats des témoins négatifs des deux pesticides, montrent qu'en absence d'un adsorbant dans les solutions, les D.O des deux pesticides restent stable au cours du temps. Ce qui signifie qu'il n'y a aucune influence du solvant sur l'absorbance des deux pesticides.

2.2 Témoins positifs

D'après les Figures 10 et 11 on constate que le charbon actif testé a adsorbé les deux pesticides dés les premières minutes de contacte.

Concernant la deltaméthrine (Figure 10), dans l'intervalle de 0 jusqu'à 90 min on remarque une diminution considérable de la DO, qui reflète une diminution de la quantité de pesticide présente dans la solution. Le maximum du rendement d'adsorption est obtenu pour un temps de contact de 90min.

De 90 min à 120 min on peut dire que la DO reste constante, mais après ce temps là on constate une légère augmentation de l'absorbance.

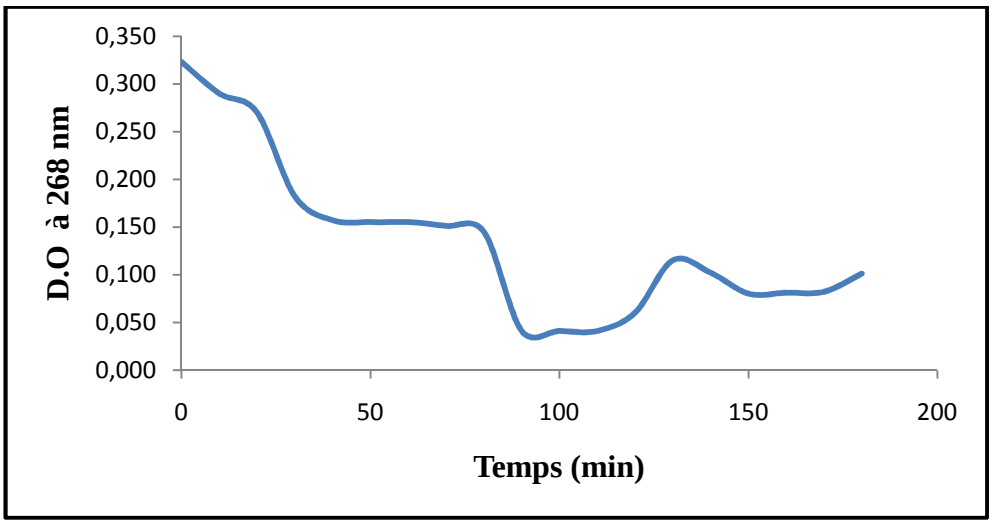


Figure 10 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur le charbon actif en fonction du temps.

Pour l'abamectine (Figure 11), on constate une diminution de la DO dans l'intervalle de 0 à 100 min, cela est dû à la diminution de la concentration de l'abamectine dans la solution. Le maximum du rendement d'adsorption est obtenu pour un temps de contact de 100 min.

De 100 min à 150 min on peut dire que la DO demeure constante, mais après ce temps la on constate une augmentation considérable de l'absorbance.

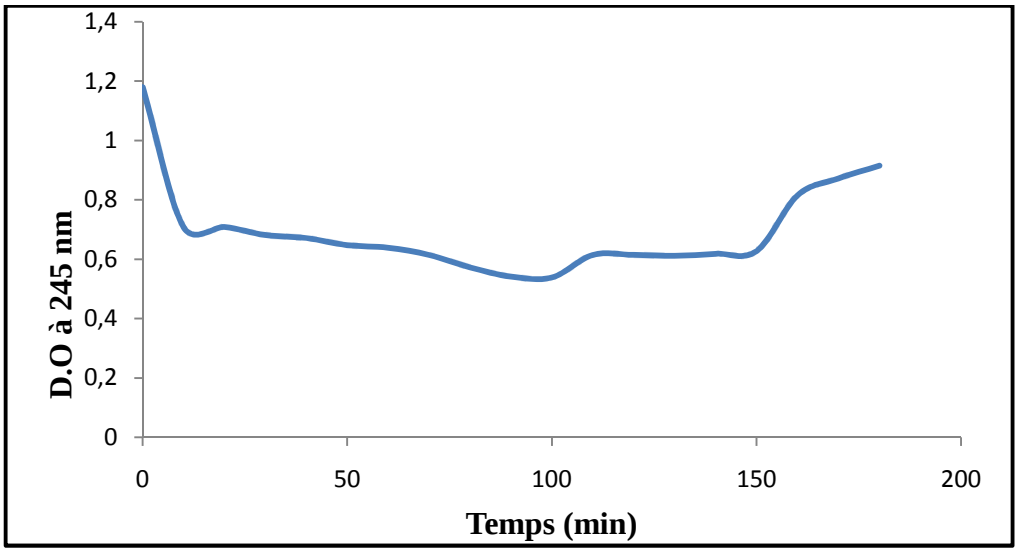


Figure 11 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur le charbon actif en fonction du temps.

L'augmentation de l'absorbance des deux pesticides à la fin de l'expérience montre que le phénomène d'adsorption dans ce cas est réversible (il y a eu une désorption). Le phénomène de désorption peut s'expliquer par un changement de température, celle-ci étant est un facteur très important pour l'adsorption. , or dans notre expérience la température n'a pas été contrôlée.

La désorption peut être aussi due aux types de liaisons formés entre le charbon actif (adsorbant) et les pesticides (adsorbat), qui seraient des forces intermoléculaires de faible énergie.

D'après les résultats donnés par le Tableau X, nous remarquons que le rendement de l'adsorption est important pour les deux polluants. Pour la deltaméthrine l'adsorption est presque totale, elle a atteint 99,75%.

Tableau X : Rendement de l'adsorption des deux pesticides sur le charbon actif.

Pesticide	**Concentration initiale ($mg.L^{-1}$)**	**Concentration résiduelle ($mg.L^{-1}$) à t=90min**	**% de pesticide adsorbé**	**Qe ($mg.\ g^{-1}_{CA}$)**
Abamectine	40	14	65	52
Deltaméthrine	40	$9{,}901.10^{-2}$	99,75	79,8

Les pourcentages d'adsorption obtenus pour l'abamectine et la deltaméthrine sont proches de ceux de la littérature, ils varient selon l'affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat.

Le charbon actif a été considéré comme étant le matériau le plus efficace pour l'adsorption et l'élimination du métaldéhyde ; qui est un molluscicide employé pour tuer les limaces et les gastropodes. Ainsi, une capacité d'adsorption de 32,258 mg de métaldéhyde par g de charbon actif et un rendement d'adsorption du polluant de 90% ont été rapportés par Li et al., (2017).

D'après les travaux de Yehya et al., (2017), qui ont porté sur la capacité du charbon actif à lier le chlordécone (un pesticide très persistant dans le sol), il a été démontré que le

charbon actif permettait de diminuer la concentration du pesticide de 63,7% dans les tissus adipeux et de 74,7% dans le foie chez les chevreaux en croissance.

D'autres auteurs comme Mandal et al., (2017), ont montré que le biochar activé présentait une capacité de sorption du 2,4-Dichlorophénooxyacétique (une substance active dans la composition d'herbicide) très élevée qui est de 58,8 $mg.g^{-1}$.

Omri et al., (2012), en étudiant l'adsorption du bentazone sur charbon actif, ont trouvés des pourcentages d'adsorption qui varient selon la concentration de l'adsorbant. En effet, à une concentration de 50 $mg.L^{-1}$ d'adsorbant ils ont observés un pourcentage d'adsorption de 90,9%, par contre à une concentration de 10 $mg.L^{-1}$ d'adsorbant présentait un pourcentage d'adsorption de 54%.

Par ailleurs, Wang et al., (2015), ont entrepris l'étude de la réduction des émissions de chloropicrine par amendement du sol avec le biochar. Ils ont ainsi abouti à une quantité adsorbée de chloropicrine sur le charbon actif de 188 $mg.g^{-1}$ après 24 heures de contact.

3. Résultats de l'interaction entre les pesticides et les biomasses bactériennes sèches

3.1 Interaction entre les pesticides et *Escherichia coli ATCC 25922*

Les résultats d'adsorption de la deltaméthrine et de l'abamectine sur *E. coli ATCC 25922* sont reportés dans les Figures 13 et 14 :

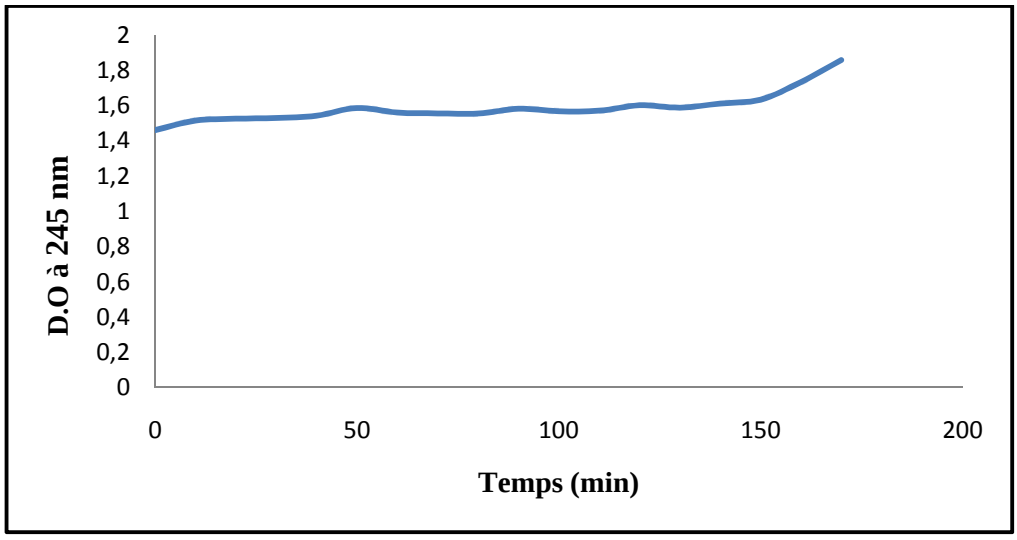


Figure 12 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur *E. coli ATCC 25922* en fonction du temps.

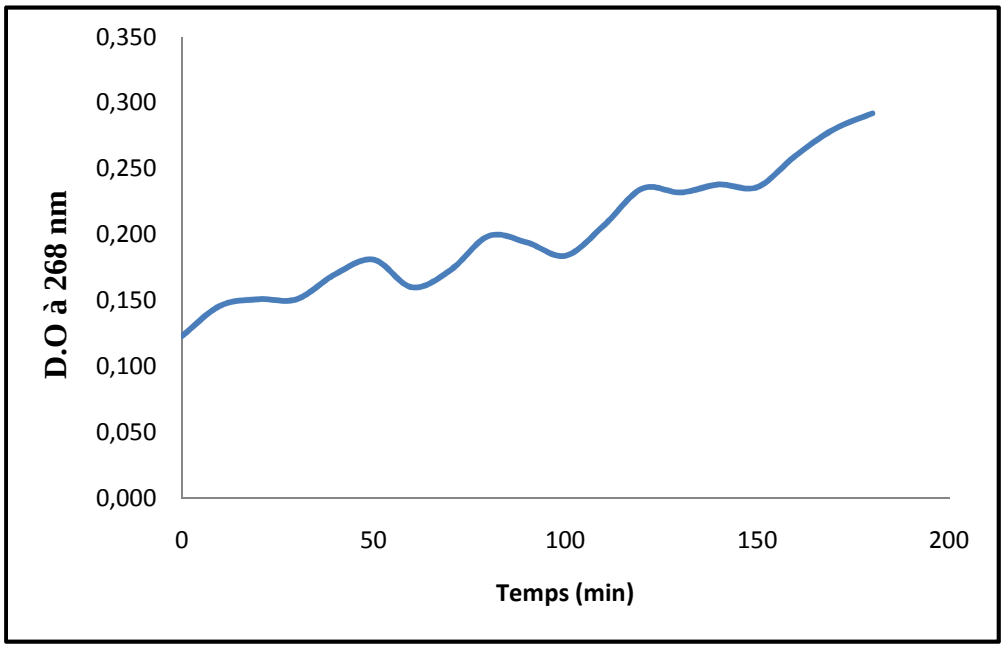


Figure 13 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur *E. coli ATCC 25922* en fonction du temps.

3.2 Interaction entre les pesticides et *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*

Les Figures 15 et 16 montrent l'adsorption de l'abamectine et de la deltaméthrine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* :

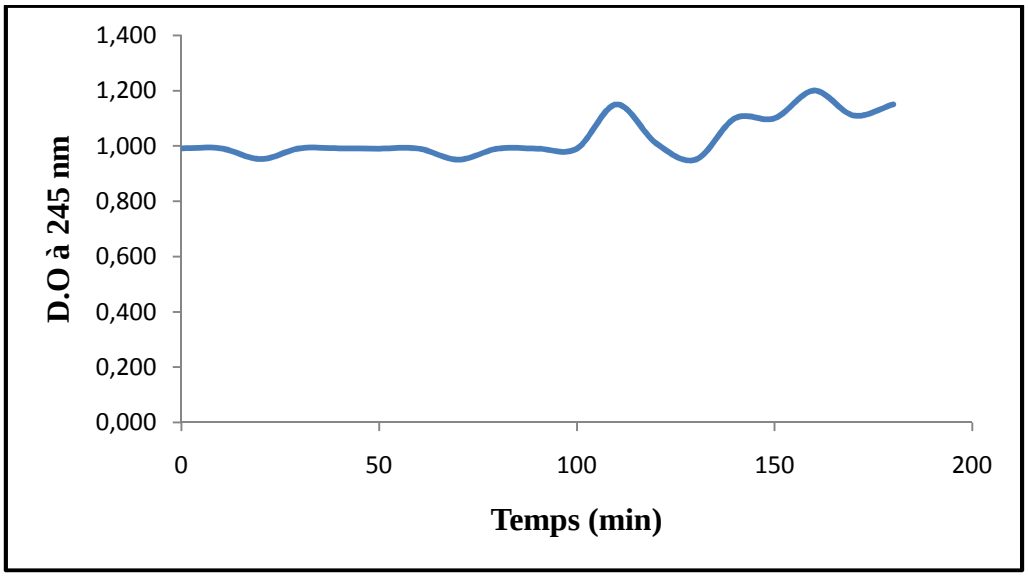


Figure 14 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*.

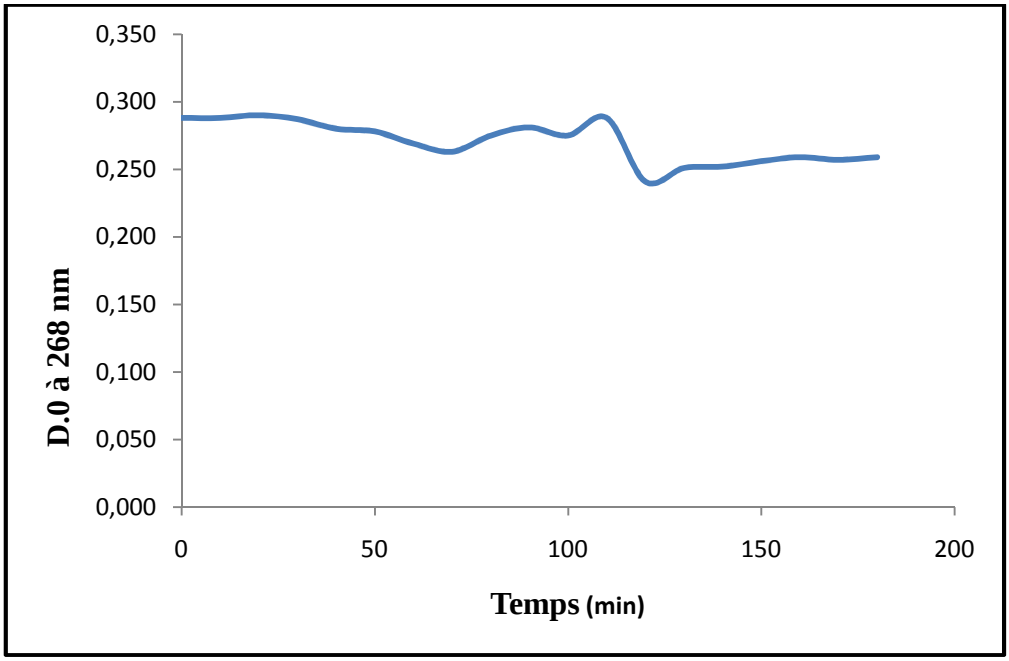


Figure 15 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*.

3.3 Interaction entre les pesticides et *Staphylococcus aureus ATCC 43300*

Les Figures 17 et 18 illustrent l'adsorption de la deltaméthrine et de l'abamectine sur *Staphylococcus aureus ATCC 43300* :

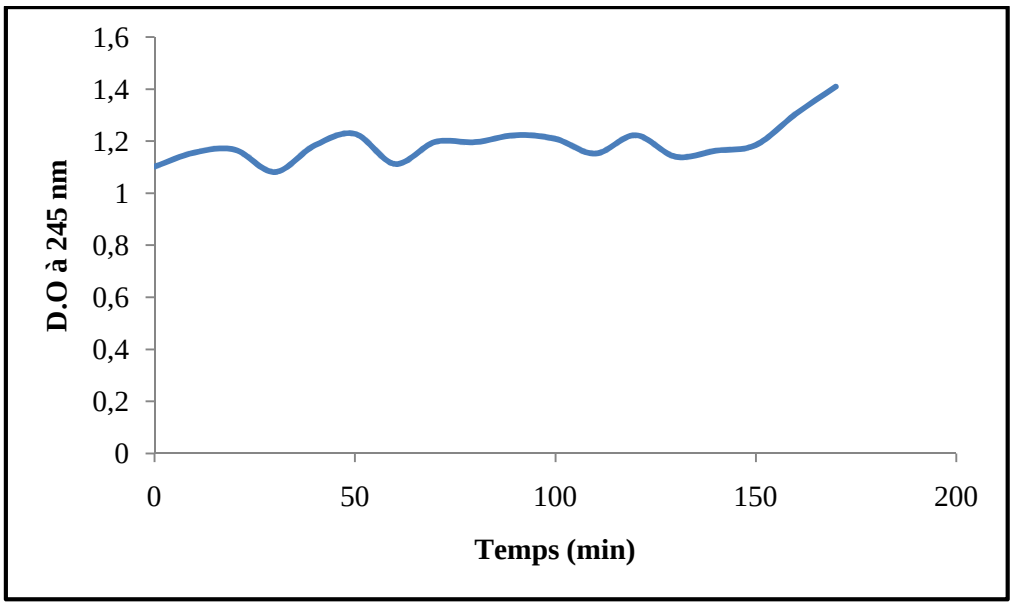


Figure 16 : Evaluation de l'adsorption de l'abamectine sur *Staphylococcus aureus ATCC 43300*.

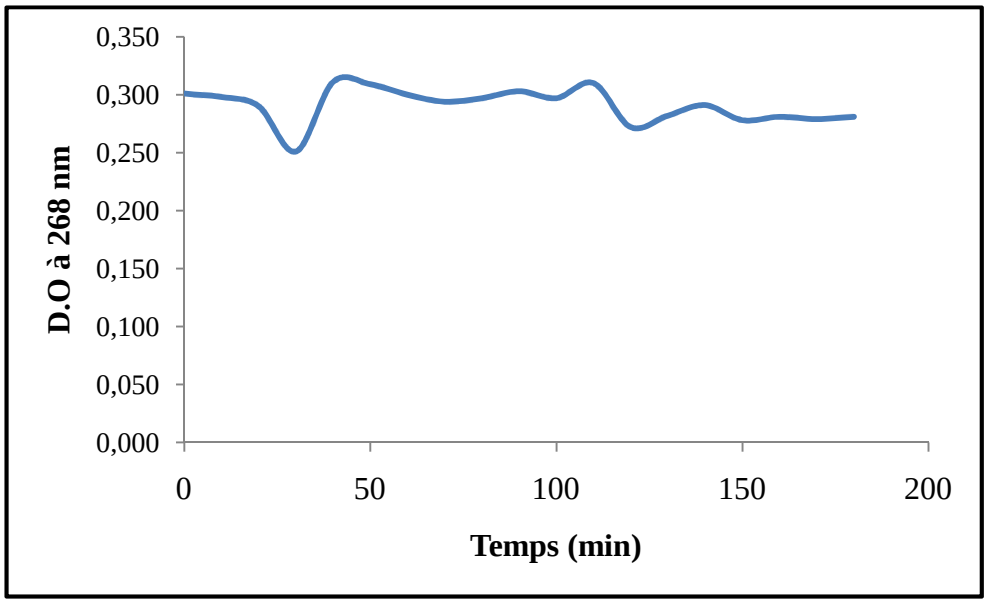


Figure 17 : Evaluation de l'adsorption de la deltaméthrine sur *Staphylococcus aureus ATCC 43300.*

3.4 Discussion

D'après les Figures 13, 14, 15, 16, 17 et 18 présentées plus haut, on peut déduire que l'abamectine et la deltaméthrine n'ont pas été adsorbés par les deux souches microbiennes étudiées*: Escherichia coli ATCC 25922 et Staphylococcus aureus ATCC 43300*. La souche *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* semble cependant présenter une légère interaction avec la deltaméthrine, indiquée par une légère diminution de la densité optique, avec un pourcentage d'adsorption de 10%.

Nous pouvant dire que l'absence d'adsorption des deux pesticides sur les deux souches *Escherichia coli ATCC 25922* et *Staphylococcus aureus ATCC 43300,* et dans une moindre mesure sur la souche *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* semble est vraisemblablement liée à un nombre insuffisant de groupements hydrophobes tels que : les groupements exhibés par les souches bactériennes sèches. En effet, ce type de groupements se prêtent mieux à l'absorption de l'abamectine et de la deltaméthrine qui sont des molécules de nature hydrophobe.

Même s'il y'a eu beaucoup d'études sur le phénomène d'adsorption des polluants, l'adsorption de l'abamectine et de la deltaméthrine reste peu étudier. La plus part des travaux ont été réalisé sur des pesticides hydrophile, car leur adsorption est plus facile et moins réversible.

Contrairement donc à nos résultats, plusieurs auteurs ont rapporté que les biomasses microbiennes sont des biosorbants efficaces qui ont été utilisées, avec succès, dans les études d'adsorption de plusieurs polluants.

En effet, l'élimination de cinq composés organiques toxiques de l'eau par adsorption sur la biomasse microbienne a été étudiée par Tsezos et Bell. (1987). Le lindane, le diazinion, le malathion, le pentachlorophénol et le PCB 2-chlorobiphényle ont été adsorbés sur deux types de biomasses microbiennes inactives (une souche pure de *Rhizopus arrhizus* et une culture mixte de boues activées). A l'exception du malathion, l'adsorption était réversible. Le malathion a montré une adsorption apparente exceptionnellement élevée et elle a semblé irréversible.

Selon Tsezos et Seto (1985), *Rhizopus arrhizus* présente la capacité de biosorption la plus élevée avec 600-650 $\mu g.g^{-1}$ de TTCE (tetrachloroethane) et 550-600 $\mu g.g^{-1}$ de TCE (trichloroethane), alors que *Penicilium chrysogenum* à 7 $mg.L^{-1}$ présente une capacité d'adsorption du TCE et du TTCE, respectivement de 450 à 500 $\mu g.g^{-1}$.

L'élimination du malathion de la solution aqueuse par biosorption avec *Spirogyra sp* a été étudiée. Un pourcentage de 76,34% de malathion avait été éliminé pour un temps de contact de 5 heures avec une capacité maximale d'adsorption de 833,3 $mg.g^{-1}$ (Liani et Katoch, 2017).

Par ailleurs, il a été rapporté que l'élimination maximale de l'atrazine par des souches fongiques est estimé à 96% pendant 8h de contact avec une concentration de biosorbant de 600 $mg.L^{-1}$ (Plante et Didi, 2012).

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le travail réalisé au cours de ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de l'adsorption des polluants organiques. Il a eu pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser les biomasses microbiennes sèches pour l'adsorption des pesticides.

Dans ce travail nous avons essayé d'évaluer la capacité des souches microbiennes : *Escherichia coli ATCC 25922*, *Staphylococcus aureus ATCC 43300* et *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* à adsorbé l'abamectine et la deltaméthrine. Contrairement au témoin positif (charbon actif) qui a présenté une excellente adsorption pour les pesticides étudiés, les résultats obtenus ont révélé une faible adsorption de la deltaméthrine sur *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*, avec un pourcentage d'adsorption de 10%. Cependant, aucune adsorption n'a été observée pour les deux souches *Escherichia coli ATCC 25922* et *Staphylococcus aureus ATCC 43300*.

D'après les résultats préliminaires obtenus et ceux de la littérature, on constate que l'adsorption est conditionnée par les facteurs de l'environnement est dépend à la fois de la structure des pesticides et de la nature des adsorbants utilisés. La complexité et la diversité des mécanismes d'adsorption en rend l'étude difficile.

Au terme de ce travail et à partir des résultats obtenus, il est désormais possible de relever quelques perspectives :

- Réaliser une étude sur l'effet de la concentration de l'abamectine et de la deltaméthrine sur l'adsorption par le charbon actif et réaliser des isothermes d'adsorption.
- Effectuer une analyse par spectroscopie infrarouge pour identifier les groupements chimiques responsables de l'adsorption.
- Tester d'autres souches microbiennes telles que des souches fongiques, des micro-algues ainsi que d'autres souches bactériennes pouvant avoir un nombre important de groupements hydrophobes susceptibles d'adsorber les deux pesticides testés.
- Tester l'effet des trois souches microbiennes étudiées avec d'autres pesticides hydrophiles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- **Amalric L., Baran N., Jeannot R., Martin J.C., Mouvet C. (2003).** Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. Etude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM-2001-EAU-265.France. p116.
- **Anonyme. (1987).** Guide d'homologation des pesticides au Canada: chimie et devenir dans l'environnement. p74.
- **Anonyme. (1987). Journal officiel de la République Algérienne N˚ 87-17** du 1er Aout relative à la protection phytosanitaire.
- **Anonyme. (2010).** Portail des bases de données sur les propriétés des pesticides, observatoire des résidus des pesticides. Rapport scientifique : Synthèse et recommandations du comité d'orientation et de prospective scientifique de l'observatoire des résidus de pesticides (ORP). p54.
- **Arabet D. (2014).**effets d'un herbicide de la famille des sulfonylurées sur la communauté bactérienne d'un sol agricole, étude de cas : le chevalier® One Pass, p1-6.
- **Atkins P.W. (1994)**. Physical chemistry, 5th Ed, Oxford University Press, Oxford.
- **Barrer R.M. (1978).** Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves, Academic Press.
- **Barret E. (2006).** Pesticides et eau souterraine: prévenir la contamination en milieu agricole. Direction des politiques en milieu terrestre, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec. p15. ISBN : 2-550-46789.
- **Bavoux C., Bonnard N., Jargot D., Pillière F., Serre P. (2007).** Fiche toxicologique de la Deltaméthrine, n°193, INRS.
- **Bazzi L.H. (2010).** Etude de la persistance de quelques pesticides dans la culture du haricot vert dans la région de Souss Massa. Thèse de doctorat en science, Spécialité environnement. Université Ibn Zohr : Ecole nationale des sciences appliquées, Agadir, p139.
- **Bell P.J., TsEzos M. (1987).** Removal of hazardous organic pollutants by biomass adsorption. Water Environment Federation. p191-198.

- **Benard A. (2003).** Le plomb et le chrome dans les ciments: Spéciation et modélisation du transfert au cours de la lixiviation. Thèse de doctorat, Université de droit, d'économie et des sciences de Marseille. France, p296.
- **Benefield L. D., Judkins J.F., Weand B. L. (1982).** *Prendice Hall Inc, Englewood Cliff* (N.J) 07632, p 510.
- **Benhamed I. (2015).** "Amélioration par ajout d'un métal de transition de la régénération in situ d'un charbon actif par oxydation catalytique." École Doctorale Mécanique, Énergétique, Génie civil et Procédés. Toulouse, p. 12, 22, 23, 24.
- **Benselka N. (2015).** Synthèses d'argiles anioniques (MgFeCO3) par coprécipitation et dégradation thermique de l'urée et applications à l'élimination de colorants anioniques dans les effluents textiles. Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie USTO « Mohamed Boudiaf », Algérie, p71.
- **Bouchard M.F., Chevrier J., Harley K.G., Kogut K., Vedar M., Calderon N. et *al*. (2011).** prénatalebl'exposition aux pesticides organophosphorés et QI 7 ans les enfants. Environ Health Perspect. p1189-1195.
- **Bouziane N. (2007).** Elimination du 2-mercaptobenzothiazole Par voie photochimique et par adsorption sur La bentonite et le charbon actif en poudre, Mémoire de magister, université mentouri de Constantine, p15-27.
- **Bouziani M. (2007).** L'usage immodéré des pesticides.de graves conséquences sanitaires. Le guide de médecin et de la santé. Santémarghreb. (Consulte, 07 /06/2018).
- **Brady D., Letebele B., Duncan J.R., Rose P.D. (1994).** Bioaccumulation of heavy metals by scenedesmus, Selenastrum and chlorella algae Water. p213-218.
- **Brierley C.L.(1991).** Biomediation of metal-contaminated surface and ground waters, J. Geomicrobiol. p201-223.
- **Calvet R., Barriuso E., Bedos S., Benoit P., Charney M.P., Coquet.Y. (2005).** Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. France Agricole, Paris.
- **Calvet.R., Terce M. (1970).** adsorption of several, herbicide by montmorillonite kaolinite and illite clays J.Chemosphere. p365-370.
- **Campbell W.**C. (2012). Ivermectin and Abamectin. Ed: Springer-Verlag. P363.
- **Chanakya M. (1986).** Industrial alumina chemicals, ACS Monograph. p184

- **Choumane F.Z. (2015).**Elimination des métaux lourds et pesticides en solution aqueuse par des matrices argileuses, université Abou bekr belkaid, Tlemcen.
- **Décret exécutif n ° 14-366 du 22 Safar 1436 correspondant au 15 décembre 2014** fixant les conditions et les modalités applicables en matière de contaminants tolérés dans les denrées alimentaires. Journal officiel n° 74 du 25 décembre 2014, p13.
- **Décret exécutif n° 10-69 du 15 Safar 1431 correspondant au 31 janvier 2010** fixant les mesures applicables lors de l'importation et l'exportation des produits phytosanitaires à usage agricole. Journal officiel n° 09 du 3 février 2010. p3.
- **Décret présidentiel n° 06-206 du 11 Joumada El Oula 1427 correspondant au 7 juin 2006** portant ratification de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, adoptée à Stockholm le 22 mai 2001. Journal officiel n° 36 du 14 Juin 2006. p4.
- **Deschamps T., Benzaazoua M., Bussière B., Belem T., Mbonimpa M. (2006).** Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide: cas de la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels. Vertigo. La revue électronique en sciences de l'environnement. Volume 7, Num 2, Université du Québec.
- **El Bakouri H. (2006).**Développement de nouvelles techniques de détermination des pesticides et contribution à la réduction de leur impact sur les eaux par utilisation des substances organiques naturelles (S.O.N). Thèse de doctorat, Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des sciences et technique, Tanger, Maroc.
- **Elbakouri H. (2006).** Développement de nouvelles techniques de détermination des pesticides et contribution à la réduction de leur impact sur les eaux par utilisation des Substances Organiques Naturelles (S.O.N.), Spécialité Génie chimique et Chimie de l'environnement, Université Abdelmalek Essaadi. Tanger. p10.
- **Escalada J.P; Gianotti J; Pajares A; Massad A.W; Amat-Guerri F; Garcia N.A. (2008).** Journal of Agricultural and Food Chemistry. p7355-7359.
- **Fiani E. (2000).** Adsorption de polluants gazeux sur des filtres à charbon actif, Modélisation des échanges couplés de matière et de chaleur, INPG-EMSE. Saint-Etienne. France.

- **Fillatre Y. (2011).** Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multi résidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la spectrométrie de masse en mode tandem. Thèse de doctorat, spécialité chimie analytique. Université ANGERS, p267.
- **Freundlich H. (1932).** Trans .Farad.Soc,28,195
- **Gdoura M. (2013).** Amélioration de la capacité de biodégradation de deux pesticides (methyl parathion, méthomyl) par des bactéries irradiées. p13.
- **Générations Futures**. (**2014).** Enquête EXPPERT 3 Exposition aux pesticides perturbateurs endocriniens.
- **George J., Shukla Y. (2011).** Pesticides and cancer: Insights into toxico proteomic-based findings., Journal of proteomics. p2713-2722.
- **GEORGHIOU G.H. 1986.** The magnitude of the resistance problem. In :National Rechearch Concil (ed) : Pesticide resistance stratégies and tactics for management, Nat. Acad. Press, Washington. p14-43.
- **Guibal E., Roulph Ch. (1990).** Fixation de l'uranium par un champignon filamenteux : Application au traitement d'effluents faiblement charges, Journal Français d'Hydrologie. p229-240.
- **INSERM. (2013).** Pesticides. Effets sur la santé. Collection expertise collective, Inserm, Paris.
- **Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2007).**
- **Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2006).** Traitement des gaz dangereux captés sur les lieux de travail, Adsoption. Edition : 4263.
- **Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2007).** Fiche toxicologique de la deltaméthrine n°193.
- **Institut national de la recherche et de la santé (INRS). (2013).** Fiche toxicologique de l'abamectine n°299.
- **Jacobs P.H. Waite T.D. (2004).** The role of aqueous iron (II) and manganese (II) in Sub-aqueous active barrier systems containing natural clinoptilolite. Chemosphere, p313- 324.
- **Janie Shelton F., Estella M., Geraghty., Daniel J., Tancredi., Lora D., Delwiche., Rebecca J., Schmidt., Beate Ritz., Robin L., Hansen., Irva Hertz-Picciotto. (2014).** Neurodevelopmental Disorders and Prenatal Residential

Proximity to Agricultural Pesticides: The charge study**,** *Environ Health Perspect;* DOI: 10.1289 / ehp.1307044, 122 (10).

- **Jargot D., Falcy M., Robert S et al. (2013).** Fiches toxicologiques, n° 299. INRS.
- **Juste C. (1995).** Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Ademe-Angers, p209.
- **Kast W., Otten W. (1987).** The breakthrough in fixed bed adsorbers: method of calculation and effects of process parameters. Intern. Chem. Eng.29 (2), 197.
- **Kearney P., Kaufman D. (1988).** Herbicides Chemistry: Degradation and Mode of Action. CRC Press. New York, USA.
- **Koller E. (2001).** Aide mémoire, génie chimique. 1ère édition DUNOD, Paris.
- **Koller E. (2005).** Aide-mémoire Génie chimique, 2ème Edition DUNOD. p364-366.
- **Langmuir I. (1918).** The adsorption of gases on plane surfaces of glass, micas, J.Am Chem.Soc, 40,1361.
- **Li Z ; Kim K.J ; Chaudhari V ; Mayadevi S ; Campos C.L. (2017).** Degradation of metaldehyde in water by nanoparticle catalysts and powdered activated carbon. Environ Sci Pollut Res. p17861-17873.
- **Liani C; Katoch S.S. (2017).** Biosorption of Malathion pesticide using *Spirogyra sp.* International Journal of Environmental & Agriculture Research. p15-20.
- **Maison de la Consommation et de l'Environnement. (2003).**Pesticides; réglementation et effets sur la santé et l'environnement. Edition MCE; Rennes.**OMS. (1991).** L'utilisation des pesticides en Agriculture et conséquences pour la santé publique. Genève.
- **Malherbe F., Forano C.,Sharma B. (1997).** « hydrotalcites like compounds as precursors for mixed oxides catalysts , J. Appl Clays sci , p13.
- **Manceau A., Marcus M.A., Tamura N. (2002)**. Quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques. In Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature**.** Geochemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Mineralogical Society of America. p341-428.
- **Mandal S; Sarkar B; Igalavithana D.A; Sik Ok Y; Yang X; Lombi E; Bolan N. (2017).** Mechanistic insights of 2,4-D sorption onto biochar: Inf 1 luence of feedstock materials and biochar properties. Future Industries Institute. p1-35.

- **Manli Y; Yao J; Liang J; Zeng Z; Cui B; Zhao X; Sun C; Wang Y; Liu G; Cui H. (2017).** Development of functionalized abamectin poly(lactic acid) nanoparticles with regulatable adhesion to enhance foliar retention. Royal Society of Chemistry. p11271-11280.

- **Meeker J.D., Barr D.B., Hauser R. (2006).** Thyroid hormones in relation to urinary metabolites of non-persistent insecticides in men of reproductive age. Reproductive Toxicology. p437-442.
- **Mullen M.D., Wolf D.C., Ferris F.G., Beveridge T.J., Flemming C.A., Bailey G.W. (1989).** Bacterial sorption of heavy metals, Applied and Environmental Microbiology. p3143-3149.
- **NGOM M.B. (1992).** Contribution à la connaissance de l'utilisation de pesticides au Sénégal: enquête auprès de 146 maraîchers dans la région des Niayes. Thèse Phram, Dakar, n°73.
- **Noll K.E., Gounaris V., Hou W.S. (1992).** Adsorption tehnology for air and water pollution control, lewis, Chelsea, USA, p1-22.
- **Omri A; Wali A; Benzina M. (2012).** Adsorption of bentazon on activated carbon prepared from Lawsonia inermis wood: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Arabian Journal of Chemistry. p1729-1739.
- **Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2016).** Résidus de pesticides dans l'alimentation et risques sanitaires.
- **Ouakouak A et Youcef Leila.(2013).** Influence du pH sur l'adsorption de la cytosine et de la caféine par le CAP, Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE. Ouargla.

- **Pathak R.K; Dikshit A.K. (2012).** Effect of Various Parameters on Biosorption of Atrazine. ELSEVIER. p79-82.
- **Pawar A.S; Mali G.V; Deshmukh H.V. (2016).** Biodegradation of Deltamethrin by using Indigenous Bacteria Isolated from Contaminated Soil. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. p258-265.

- **Periquet A. (1986).** Toxicologie des résidus de pesticides, In R Derache (Ed), toxicologie et sécurité des aliments. 1ère édition, Technique et documentation, Paris.

- **Perrat C. (2001).** Devenir des pesticides dans les sols : Validation des méthodes d'analyse et isothermes d'adsorption. Mémoire de DEA. Pesticides Chemicals. Vol II: Toxicological data profiles. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- **Piccolo A., STEVENSON F.J. (1982).** Infrared spectra of Cu2+ Pb2+ and Ca2+ complexes of soil humic substances. Geoderma. p195-208.
- **Ramesh A., Lee DJ et Wong J. (2005).** Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewater with low-cost adsorbents. Colloid and interface science. p588–592.
- **Reungoat J. (2007)**. Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone. Application au traitement d'effluents aqueux industriels. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse.
- **Rives V. (2001).** « layered double hydroxide, present and future », Nova Science Publisher, New York.
- **Robert L. (1989).** Opération unitaire-désorption, techniques de l'ingénieur, J2730.
- **Robert L. (1999).** Techniques de l'ingénieur «Génie des procédés ». Adsorption.
- **Robert L., Dardel F.(1988).** Adsorption J 2730, Traité Génie des procédés.
- **Ruthven D.M. (1984).** Principles of adsorption and adsorption process, John Wiley. & Sons, New-York.
- **Saihia A. (2014).**L'effet d'éthanol sur les paramètres hématologiques, biochimiques et les paramètres de la reproduction chez le lapin mâle *Oryctolagus Cuniculus.* Thèse de doctorat, université badji-mokhtar. Annaba. p14.
- **SALAH N.H. (2012).** Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe." thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes Français. p 29, 31, 32.
- **Samuel O. (2014).** Les pesticides agricoles: impact sur la santé humaine et l'environnement. Institue National de Santé du Québec.
- **Scavetta E., Berrettoni S., Seeber R. (2001).** « Ni-Al-Cl based hydotalcites electrodes as amperometric sensors , J.Electrochimica Acta. p2681– 2692.
- **Scrano L. (1997).** Transformations photochimiques des diphényléthers en phase liquide et sur support solides. Doctorat Européen (chimie industrielle).
- **Sedira N. (2013).** Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. Mémoire de magister, université Mohamed Chérif Massaadia Souk-ahras. p46.47.

- **Silver S., Lusk L, (1987).** Ion transport in prokaryotes, éd. Rosen et Silver, Academic Press, N. Y.
- **Suzuki M. (1998).** residual chromain breaks as biodosimetry for cells killing by carbon ions J.adsorption Engineering. p1663-16671.
- **Tatsumi T., Nakamura M., Tominaga H. (1989**). Catalysis Today. p163-170.
- **Tomlin C.D.S. (2006).** The Pesticide Manual. 13éme edition. British Crop Protection Council.Surrey. p697-698.
- **Tron I., Piquet O., Cohuet S. (2001).** Effets chroniques des pesticides sur la sante : état actuel des connaissances. Rennes cedex, p224.
- **TsEzos M ; Seto W. (1985).** The adsorption of chloroethanes by microbial biomass. Printed in Great Britain. p851-858.
- **Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP). (2009).** Rapport d'activité 2008-2009, p32.
- **Vettorazzi G., Radaelli-Benbenuti B. (1982).** International Regulatory Aspects for pesticide chimicals. Toxicity profiles. p141-151.
- **Wang Q ; Yan D ; Liu P ; Mao L ; Wang D ; Fang W ; Li Y ; Ouyang C ; Guo M ; Cao A. (2015).** Chloropicrin Emission Reduction by Soil Amendment with Biochar. PLoS ONE. p1-16.
- **Weber W.J., Vanvielt B.M Ann. (1980).** Arbor. Sci. Publ., Ann. Arbor, 1, 15.
- **Weckhuysen B.M.,Wachs C.P., Schoonheydt R.A. (1996).** Surface chemistry and spectroscopy of chromium in inorganic oxids. Chem. Rev. p3327-3349.
- **Wood O., Hanrahan S., Coetzee M., Koekemoer L., Brooke B. (2010).** Cuticle thickening associated with pyrethroid resistance in the major malaria vector Anopheles funestus. Parasit Vectors. p67.
- **Wright A. 1991.** The death of Ramon Gonzalez. « The dilemma of modern agriculture». The University of Los Angeles Press.
- **Xiong C; Fang F; Chen L; Yang Q; He J; Zhou; Shen B; Ma L; Sun Y; Zhang D; Zhu C. (2014).** Trypsin-Catalyzed Deltamethrin Degradation. Plos One. p1-5.
- **Yang P.Q; Sun L; Zhang D; Sun Y; Ma L; Sun J; Hu X; Tan W; Zhu C. (2008).** Partial characterization of deltamethrin mmetabolism catalyzed by chymotrypsin. Toxicol in vitro. p1528-1533.

- **Yehya S ; Delannoy M ; Fournier A ; Baroudi M ; Rychen G ; Feidt C. (2017).**Le charbon actif, un moyen utile pour lier le chlordécone dans le sol et limiter son transfert aux chevrons en croissance. PLoS One. p1-12.

Annexes

Annexe I : Composition des solutions et milieux de culture utilisés.

- **Gélose Müeller Hinton (MH)**

Composition en g/l

Extrait de viande 3g

Hydrolysat acide de caséïne 17,5g

Agar 18g

pH=7,4

Stérilisation à 120°C/15 min.

- **Bouillon Brain Heart Infusion (BHIB)**

Composition en g/ml

Protéase-peptone 10g

Infusion de cervelle de veau 12,5g

Chlorure de sodium 2,5g

Phosphate disodique 2,5g

Eau distillée 1000ml

pH=7,4

Stérilisation à 120°C/15 min.

- **Gélose nutritive (GN)**

Composition en g/l

Peptone.....10g

Extrait de viande.....3g

Extrait de levure.....3g

Chlorure de sodium 5g

Agar.....18g

pH = 7,2±0,2

Stérilisation à 120°C/15 min

Annexe II : propriétés physico-chimique de l'éthanol.

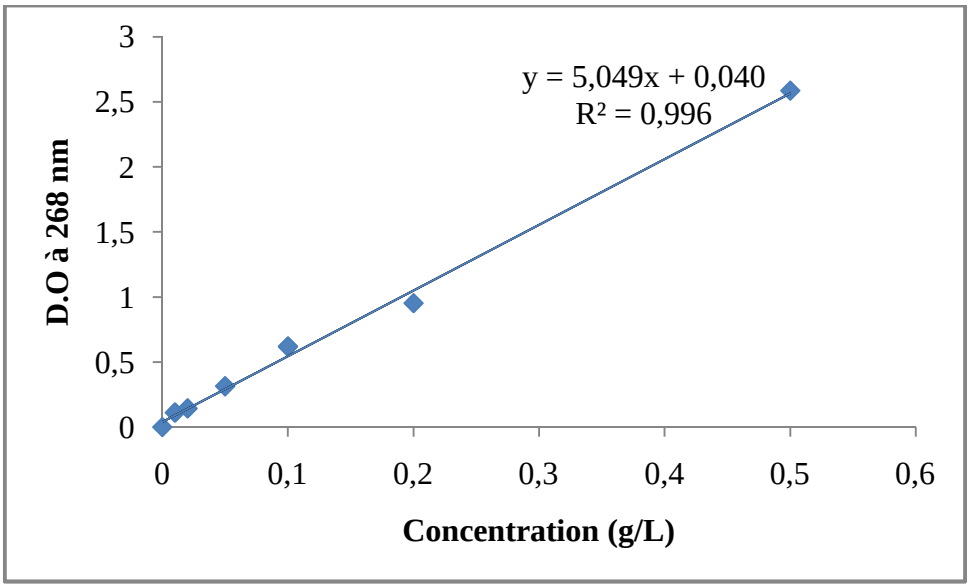
Tableau : les caractéristiques physiques de l'éthanol (INRS, 2007).

Caractères physiques	
Masse molaire	46,07
Point de fusion	-114°C
Point d'ébullition	78-78,5°C
Densité à 20°C	0,789
Tension de vapeur	5,9 KPa à 20°C/ 10KPa à 30°C / 29,3 KPa à 50°C.
Température d'auto-inflammation	423°C à 425°C
Limites d'explosivité dans l'air (% en volume)	Inférieur 3,3% Supérieur 19%

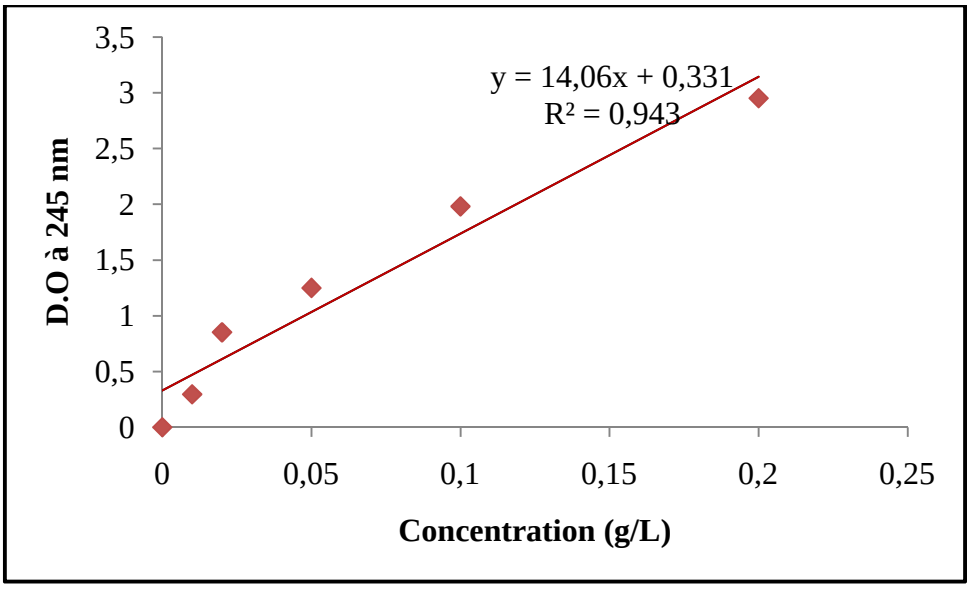
Tableau : les propriétés chimiques de l'éthanol (INRS, 2007).

Propriétés chimiques de l'éthanol	Produit stable
	Alcool primaire
	Réagit vivement avec les oxydants puissants : acide nitrique…etc.
	Se transforme en dioxyde de carbone et en eau par une oxydation brutale.
	L'oxydation ménagée conduit principalement à l'aldéhyde et l'acide acétique.

Annexe III : Courbe étalon de l'abamectine.



Annexe IV : Courbe étalon de la deltaméthrine



Résumé

Le présent travail a eu pour objectif d'étudier les possibilités de rétention des pesticides : abamectine et deltaméthrine par trois souches microbiennes sèches : *Staphylococcus aureus ATCC 43300*, *Escherichia coli ATCC 25922* et *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853*, ainsi que par du charbon actif.

L'étude a porté sur des solutions avec une concentration initiale en pesticides (adsorbat) de 40 mg. L^{-1}, et une concentration en adsorbant de 500 mg. L^{-1}. L'adsorption a été suivie par spectrophotométrie UV-Visible aux longueurs d'ondes correspondant à l'absorption maximale de chaque pesticide : 245 nm pour l'abamectine et 268 nm pour la deltaméthrine. L'essai avec le charbon actif qui est un adsorbant de référence, a permis d'avoir une idée sur la possibilité d'adsorption des deux pesticides. Le charbon actif a présenté une excellente interaction avec les deux polluants, avec des pourcentages d'adsorption, respectivement de 65% et 99,75% pour l'abamectine et la deltaméthrine.

Pour ce qui est des souches bactériennes, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 et *Escherichia coli ATCC 25922*, elles n'ont exhibé aucune adsorption, et ce, contrairement à la souche *Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853* qui a présenté une légère interaction avec la deltaméthrine avec un pourcentage d'adsorption de 10%. Contrairement donc au charbon actif, ces souches microbiennes sont loin d'être les adsorbants idéals pour adsorber les pesticides étudiés.

Mots clés : Abamectine, adsorption, charbon actif, deltaméthrine, souches microbiennes.

Abstract

The aim of this study was to study the possibilities of pesticide retention: abamectin and deltamethrin by three dry microbial strains: *Staphylococcus aureus* ATCC 43300, *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, as well as activated carbon.

The study focused on solutions with an initial pesticide concentration (adsorbate) of 40 mg. L^{-1}, and an adsorbent concentration of 500 mg. L^{-1}. Adsorption was followed by UV-Vis spectrophotometry at wavelengths corresponding to the maximum absorption of each pesticide: 245 nm for abamectin and 268 nm for deltamethrin. The test with activated carbon, which is a reference adsorbent, made it possible to have an idea about the possibility of adsorption of the two pesticides. Activated carbon showed excellent interaction with both pollutants, with adsorption percentages of 65% and 99,75% respectively for abamectin and deltamethrin.

For bacterial strains, Staphylococcus aureus ATCC 43300 and Escherichia coli ATCC 25922, they exhibited no adsorption, unlike the strain Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853 which exhibited a slight interaction with deltamethrin with a percentage of 10% adsorption. Unlike activated carbon, these microbial strains are far from being the ideal adsorbents for adsorbing the pesticides studied.

Key words: Abamectin, activated carbon, adsorption, deltamethrin, microbial strains.