

**REPUBLIQUE ALGERERNNEDEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU**  
**FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUE ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES**



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE**



En vue de l'obtention du diplôme de master en Ecologie et Environnement

**Spécialité : Biodiversité et Environnement**

**THÈME**

**Etude du comportement de nouvelles formulations  
à base de polychlorure de vinyle (PVC) dans le sol**

Réalisé par : **BOUTMA Nassima**

Devant le jury :

M<sup>me</sup> BACHI K.

Promotrice

Maitre de conférences B

M<sup>me</sup> LARDJANE N.

Co.Promotrice

Professeur

M<sup>me</sup> ALI AHMED S.

Présidente

Maitre de conférences B

M<sup>me</sup> HEDJAM H.

Examinatrice

Maitre de conférences B

**Promotion : 2021 / 2022**

# ***REMERCIEMENTS***

Toute ma gratitude et tous mes remerciements à Allah le tout puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour réaliser ce travail.

- ❖ Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude à ma promotrice M<sup>me</sup> BACHI K, maitre de conférences B à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou pour avoir accepté de m'encadrer et pour ses précieux et pertinents conseils dans l'élaboration de ce mémoire, ainsi que sa disponibilité tout au long de mon travail.
- ❖ Je tiens à remercier également ma Co-Promotrice M<sup>me</sup> LARDJANE N., Maitre de conférences A.
- ❖ Je tiens à remercier M<sup>me</sup> ALI AHMED S. qui m'a fait l'honneur de présider le jury
- ❖ Je tiens à remercier M<sup>me</sup> HEDJAM H. Maitre de conférences B. qui a accepté d'examiner mon travail.
- ❖ Je tiens à remercier aussi M<sup>me</sup> ABROUS H., ingénieur du laboratoire PSEMRVC pour son aide.
- ❖ Sans oublier d'exprimer ma gratitude à l'ensemble des enseignants de l'UMMTO en particulier ceux du Master *BIODIVERSITE ET ENVIRONNEMENT*.

Enfin, mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

# ***Dédicaces***

J'ai le grand plaisir de dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et motivé dans mes études.

A mon mari qui m'a soutenue tout au long de ce travail.

A mes chers frères et à ma petite sœur « *Imane* ».

A tout ma belle famille : mes beaux-parents et mes belles sœurs.

A mes amies.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis  
merci.

Que dieu les protège pour moi

# Sommaire

## REMERCIEMENTS

Sommaire

La liste des figures

La liste des tableaux

La liste des abréviations

Introduction générale .....1

**Chapitre 1 : Généralité sur les plastiques.....4**

1.Historique sur les matières plastiques .....4

2.Définition de la matière plastique .....5

3.Types de plastiques .....5

3.1. Les thermoplastiques.....5

3.2. Les thermodurcissables .....5

3.3. Les élastomères.....7

4. Domaine d'application des matières plastiques .....8

**Chapitre 2 : Polymère et Polymérisation.....9**

1. Définition de polymère .....9

2. Définition d'un monomère .....9

3. Polymérisation .....9

3.1.1.Polycondensation .....10

3.1.2. Polyaddition.....10

4. Classification des polymères .....10

4.1. Selon leur origine.....10

4.1.1.Polymère naturels.....0

4.1.2.Polymères artificiels.....10

4.1.3. Polymères synthétiques .....	10
4.2. Selon leur structure .....	10
4.2.1. polymères linéaires (ou monodimensionnels) .....	10
4.2.2. Polymères bidimensionnels .....	11
4.2.3. Polymères tridimensionnels .....	12
4.3. Selon leur nature chimique .....	12
4.3.1. polymères minéraux .....	12
4.3.2. Polymères organiques .....	12
4.3.3. Polymères mixtes .....	12
<b>Chapitre 3: Le Polychlorure de Vinyle .....</b>	<b>13</b>
1. Définition de PVC .....	13
2. Les propriétés de PVC .....	14
2.1. Propriétés mécaniques .....	14
2.2. Propriétés chimiques .....	14
2.3. Propriétés physiques .....	14
3. Production de polychlorure de vinyle .....	14
4. Utilisations d'additifs dans le PVC .....	15
4.1. Les plastifiants .....	15
4.2. Les charges .....	15
4.3. Les lubrifiants .....	16
4.3.1. Externes .....	16
4.3.2. Internes .....	16
4.4. Les stabilisants .....	16
4.5. Les pigments et colorants .....	16
5. Impact de polychlorure de vinyle .....	17
5.1. Impact sur l'environnement .....	17
5.1.1. Impacts sur l'air .....	17

5.1.2. Impacts sur l'eau .....	18
5.2. Impact sur la santé .....	19
5.3. Impact sur le sol.....	19
5.3.2. Effets sur les végétaux.....	19
5.3.1. Effets sur les organismes vivants.....	20
6. La toxicité des additifs .....	20
6.1. Les stabilisants.....	20
6.1.1. Plomb (Pb) :.....	20
6.1.2. Zinc (Zn) :.....	21
6.1.3. Mercure (Hg) :.....	21
6.1.4. Cadmium (Cd) :.....	21
6.2. Les phtalates .....	22
6.3. Les charges .....	22
6.4. Les pigments et les colorants.....	22
<b>Chapitre 4 : Biodégradation des plastiques.....</b>	<b>23</b>
1. Définition .....	23
1.1. Dégradation.....	23
1.2. Biodégradation.....	24
2. Les différentes étapes de biodégradation .....	24
2.1. La bio-détérioration .....	26
2.2. La bio fragmentation .....	26
2.3. L'assimilation.....	26
2.4. La minéralisation .....	26
3. Le taux de dégradation plastique .....	26
<b>Chapitre 5: Matériel et méthodes.....</b>	<b>29</b>

1. Etude du comportement de nouvelles formulations à la base de polychlorure de vinyle dans le sol.....	29
1.1. Produits utilisés.....	29
1.1.1. La résine de PVC.....	29
1.1.2. Les plastifiants.....	29
1.1.2.1. Plastifiant di-isononyleadipate (DINA).....	29
1.1.2.2. Plastifiant di-octoclephthalate (DOP).....	30
1.1.3. Les stabilisants thermiques et le lubrifiant.....	30
1.2. Les formulations de PVC utilisées.....	32
1.3. Description de l'essai.....	32

## **Chapitre 6 : Résultats et discussions.....34**

1. Etude de comportement des formulations dans le sol.....	34
1.1. Caractéristiques du sol utilisé .....	34
1.1.1. Texture du sol (granulométrie) et analyse physico-chimique et biologique.....	34
1.1.2. Suivi de l'humidité dans le sol.....	34
1.1.3. Essai de variation de masse.....	35
1.1.4. L'évolution du pH dans le sol.....	36
1.1.5. L'évolution de la biomasse bactérienne.....	37

## **Conclusion.....39**

### **Références bibliographiques**

### **Résumé**

# La liste des figures

Figure 1 : Représentation schématiques d'un polymère thermoplastique (a) et polymère thermodurcissable (b) .....	6
Figure 2: Molécule de polymère thermoplastique en polyéthylène (PE) .....	6
Figure 3: Elastomères (pneus).....	8
Figure 4: Schéma d'un monomère de résine phénolique .....	10
Figure 5: Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire .....	12
Figure 6: Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel .....	12
Figure 7: Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel.....	13
Figure 8: Formule chimique du PVC .....	14
Figure 9: Polymérisation de PVC.....	15
Figure 10: Différentes étapes de biodégradation du plastique en mer .....	24
Figure 11: Les formules chimiques des deux plastifiants utilisés.....	30
Figure 12: La formule chimique de l'HTE.....	31
Figure 13: Evolution de l'Humidité en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol.....	33
Figure 14 : Evolution du taux de variation de masse en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol.....	35

# La liste des tableaux

Tableau 1 : Exemple des thermoplastiques.....	7
Tableau 2: Certains domaines d'application des matières plastiques.....	8
Tableau 3: Comparaison des différents environnements influençant le taux de biodégradation des plastiques .....	26
Tableau 4 : Caractéristiques de la résine de PVC.....	29
Tableau 5 : Caractéristiques du plastifiant di-isononyleadipate (DINA).....	29
Tableau 6 : Caractéristiques du plastifiant octylephtalate (DOP).....	30

Tableau 7 : Caractéristiques des stabilisants thermiques et du lubrifiant utilisés.....	31
Tableau 8 : Analyse granulométrique du sol.....	33
Tableau 9 : Analyse physicochimique et biologique du sol.....	33

# La liste des abréviations

**BBzP** : butyl benzyl phtalates

**CMR** : cancérogène mutagène reprotoxique

**CVM** : chlorure vinyle monomère

**HDPE** : polyéthylène haute densité

**ISO** : organisation internationale de normalisation

**LDPE** : polyéthylène basse densité

**Mt** : millions de tonnes

**NaCl** : chlorure de sodium

**NTP** : national toxicology program

**PE** : polyéthylène

**PET** : polyéthylène téréphtalate

**PP** : polypropylène

**PS** : polystyrène

**PVC** : polychlorure de vinyle

# Introduction

## Introduction générale

Les plastiques jouent un rôle important dans notre vie car de nombreux objets de l'utilisation quotidienne sont faits de différents types de plastiques : des emballages, films, housses, sacs et conteneurs pour la construction.

En matières plastiques ; polyéthylène basse densité (LDPE), polyéthylène haute densité (HDPE), polypropylène (PP), chlorure de polyvinyle (PVC), polystyrène (PS) et polyéthylène téréphtalate (PET) représentent 74,2% du plastique européen demandés en 2012 (Plastics Europe, 2013). Ces matières synthétiques sont intrinsèquement présentes dans les écosystèmes naturels et provoquent diverses perturbations.

La méditerranée est très polluée par les plastiques du fait de son caractère de mer semi-fermé avec un taux de renouvellement des eaux de 90 ans alors que la persistance des plastiques est supérieurs à 100 ans (LEBRETO et *al.*, 2012).

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère très présent dans notre vie quotidienne. Il couvre tous les secteurs de l'activité économique. C'est aussi l'un des plus utilisés ces dernières années, avec une consommation mondiale de plus de 20 millions de tonnes après le polyéthylène et le polypropylène ; ceci est dû à l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié (AUSSEUR, 2002).

La consommation de PVC contribue à 12% de la demande totale. La capacité de production plastique pour le PVC était d'environ 61 millions de tonnes en 2013. De ce nombre, la chine représentait la moitié (ATTENBERGER et *al.*, 2014).

Les plastiques sont des vecteurs de composés toxiques qui se concentrent à leur surface et pourraient être bio accumulés dans la chaîne alimentaire. Ces composés toxiques peuvent être directement présents dans la composition des plastiques ou bien s'absorber à leur surface. Dans le premier cas, il s'agit d'additifs (phtalates, biphényles) incorporés à certains plastiques pour augmenter leur résistance. Différents travaux ont montré que ces composés pourraient être toxiques pour certains animaux et l'homme (LITHNER et *al.*, 2011).

La présence de ces matériaux synthétiques dans le milieu naturel est relativement récente, puisque l'essor de l'industrie du plastique date des années 1970. Dans l'environnement, la pollution par les plastiques peut avoir plusieurs conséquences. Mise à part la pollution visuelle qu'ils engendrent, les plastiques touchent les organismes marins de manière directe ou indirecte à différents échelons de la chaîne alimentaire (WRIGHT et *al.*, 2013).

Parmi les micro-organismes les plus importants dégradants les plastiques, nous citons les champignons. De nombreux champignons ont la capacité de produire des enzymes capables

de rompre totalement ou partiellement les liaisons ester présentes dans la plupart des plastifiants pour les transformer en composants plus volatils. Certains basidiomycètes comme *Plerotus ostreatus* et *Agaricus bisporus* ont la capacité de dégrader les plastiques (SANCHEZ, 2004).

*Plerotus ostreatus* est le deuxième champignon le plus cultivé, comestible dans le monde après *Agaricus bisporus*. Il a une valeur économique et écologique et des propriétés médicinales ; ces champignons sont capables de coloniser et de dégrader une grande variété de substrats lignocellulosiques et autres déchets qui sont produits principalement par les activités agricoles, les industries forestières et agro-alimentaires (BEETZ et KUSTUDIA, 2004).

L'objectif de ce travail est de rapporter l'impact des déchets plastiques (PVC) sur l'environnement et sur la santé ainsi que les différents mécanismes de leur biodégradation.

Ce travail est présenté en quatre chapitre :

Le premier chapitre rapporte des généralités sur les plastiques, le deuxième chapitre traite le polymère et la polymérisation. Le troisième chapitre sur le chlorure de vinyle (PVC) et son impact sur l'environnement et sur la santé, tandis que le quatrième chapitre concernera la biodégradation des plastiques. Nous clôturerons ce travail par une conclusion.

# **Synthèse bibliographique**

**Chapitre 1 : Généralité sur les plastiques****1. Historique sur les matières plastiques**

- En 1865 aux Etats-Unis un grand concours a été lancé pour trouver une matière capable de remplacer l'ivoire utilisée pour fabriquer des boules de billard et qui était devenue trop chère.
- 1869 : ce sont deux américains, les frères Hayatt, imprimeurs dans l'état de New-York qui, en mélangeant du camphre et de la cellulose, ont fait naître, en 1869, la première matière plastique appelée alors nitrate de cellulose ou celluloid.
- En 1909, Léo Hendrick invente la Bakélite qui est utilisée pour fabriquer des postes de radio.
- Dans les années 1930 on a commencé à fabriquer des matières plastiques à partir de dérivés du pétrole.
- En 1963, Lesieur lance la toute première bouteille alimentaire en PVC. Ce matériau a été choisi pour sa résistance et sa légèreté.
- En 1969, la première bouteille d'eau minérale en plastique est née.
- En 1976, un nouveau plastique apparaît : le PET.
- En 1992, la France s'engage dans un programme de valorisation de déchets.
- Dans le Jura (département France), en 2004, on a trié et recyclé 30000000 de bouteilles en plastique.
- Aujourd'hui, 11 milliards de bouteilles sont vendues chaque année en France. Seulement 4,8 milliards sont triés et recyclés, soit peu moins d'une bouteille sur 2.

L'évolution du plastique est liée à son principal atout, qui en fait un matériau alternatif, au détriment des métaux (GILBERT, 2017). Par conséquent, l'augmentation du plastique et de ses multiples applications, le plaçant au premier rang des parts de marché, devant les matériaux traditionnels (DUVAL, 2009). Sa consommation mondiale est passée de 1500000 tonnes en 1950 à 311Mt en 2014 (CHOLAKE et *al.*, 2017). Ses performances le rendent indispensable dans plusieurs domaines tels que l'automobile, l'agriculture.

**2. Définition de la matière plastique**

Les plastiques sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomères. Ils sont obtenus par traitement substances naturelles, ou par

synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, naturelles, ou par synthèse directe, du gaz naturel, du charbon ou autres matières minérales.

Dire d'un matériau qu'il est plastique signifie qu'il peut être moulé ou modélisé à volonté sous certaines formes (BAUDET, 2003).

### **3. Types de plastiques**

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois catégories :

#### **3.1. Les thermoplastiques**

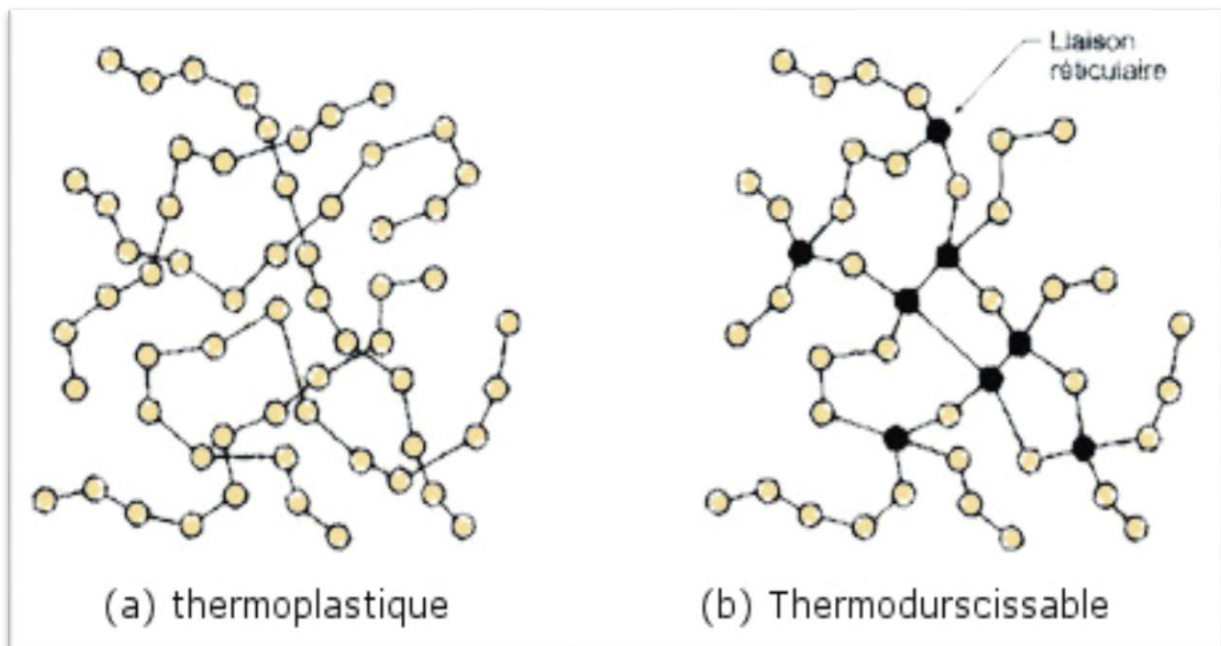
Les thermoplastiques sont constitués de polymères linéaires ou ramifiés. Ils fondent de manière réversible par simple chauffage (100-200°C). Cette propriété est utilisée pour leur mise en forme (LANDOLSI, 2017). Par conséquent, les thermoplastiques sont faciles à recycler. Cependant, ils ne sont pas biodégradables et ont une durée de vie de plusieurs centaines d'années. Ce sont les matières plastiques les plus utilisées, on peut citer le polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polychlorure de vinyle (PVC) et polystyrène (PS) (LANDOLSI, 2017) (Figure 1) (Tableau 1).

#### **3.2. Les thermodurcissables**

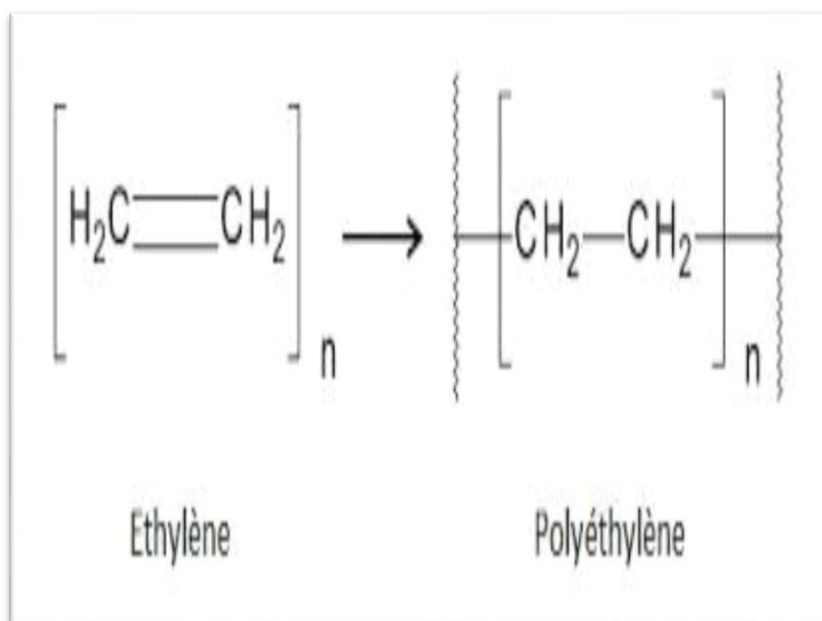
Ils ont la particularité de devenir insolubles et infusibles (ne peuvent pas fondre) après polymérisation. En raison de leur rigidité, ils ne peuvent plus être modifiés après refroidissement. Ce sont généralement des polyesters insaturés. C'est le cas dans les cabines de bateaux, piscine, toiture et vernis. Ces plastiques ont de fortes liaisons chimiques ne craquent pas sous la chaleur. Certains de ces plastiques comprennent des Polyuréthanes, des Polyester, Résine époxy, Résine phénolique, Bakélite (résine synthétique) et des Mélamines (ADDOU, 2009) (Figure 1et2).

#### **3.3. Les élastomères**

Ces polymères ont les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Les élastomères au repos sont composés de longues chaînes moléculaires repliées sur elles mêmes. Sous l'action du confinement, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformée. Différentes formulations permettent la production des caoutchoucs synthétique à usage spécial. Les élastomères sont utilisés dans la fabrication des coussins, des sièges, de certains matériaux isolants, des semelles et des pneus (CAP SCIENCES, 2006) (Figure 3).



**Figure 1:** Représentation schématique d'un polymère thermoplastique (a) et polymère thermodurcissable (b) (LANDOLSI, 2017)



**Figure 2 :** Molécule de polymère thermoplastique en Polyéthylène (PE)

Les thermoplastiques du tableau 1 sont les plus courants et ils occupent à eux seuls plus de 70% du marché mondial des polymères.

Tableau 1 : Exemple des thermoplastiques (LANDOLSI, 2017).

Applications des types de plastique		Sigle
	<p><b>PEHD : polyéthylène haute densité</b></p> <p>Application à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, jouets, articles ménagers</p>	 <p>PEHD</p>
	<p><b>PP : polypropylène</b></p> <p>Pots à yaourt, plats pour microondes, emballages médicaux, bouchons de bouteilles /flacons.</p>	 <p>PP</p>
	<p><b>PVC : chlorure de polyvinyle</b></p> <p>Emballage de fenêtres, profilés pour la construction, revêtements de sols, tuyaux d'évacuation, câbles</p>	 <p>PVC</p>
	<p><b>PS : polystyrène</b></p> <p>Emballage à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes et CD</p>	 <p>PS</p>



**Figure 3 :** Elastomères (pneus) (CAP SCIENCES, 2006)

#### 4. Domaine d'application des matières plastiques

Les plastiques existent dans différents domaines d'application, le tableau 2 ci-dessous résume certaines utilisations

**Tableau 2 :** Certains domaines d'application des matières plastiques (ANONYME, 2006)

Usages	Exemple
Emballage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouteilles de lait, d'huile et graisses et pots de yaourt.</li> <li>- Emballages de pièces industrielles et sacs poubelles.</li> </ul>
Transports	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citernes routières</li> <li>- Caisses de camions frigorifiques</li> <li>- Feux de position et tapis de voiture</li> </ul>
Industrie électrique lourds et électrodomestique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planche de tableau en bakélite</li> <li>- Composants pour radio, corps et aspirateurs</li> </ul>
Industrie chimique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revêtements de cuves</li> <li>- Cuves de stockage</li> </ul>
Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revêtements de sols et dalles</li> <li>- Toitures et bardage</li> <li>- Peintures extérieures et intérieures</li> <li>- Faux plafonds, rampes d'escalier</li> </ul>
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubes d'irrigation et de drainage</li> <li>- Bacs à fleurs, bancs de jardin</li> </ul>

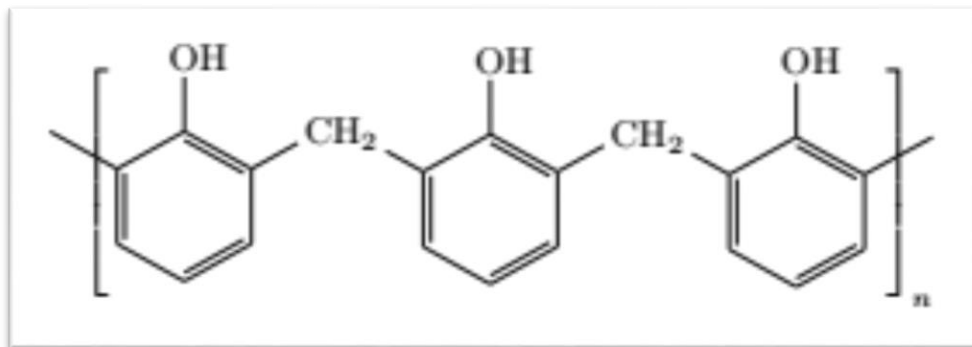
## Chapitre 2 : Polymère et Polymérisation

### 1. Définition du polymère

Les polymères sont principalement composés de macromolécules. Ils se composent de longues chaînes d'atomes liées entre eux par des liaisons covalentes, l'unité de base de ces chaînes est les monomères. La formation de ces longues chaînes est appelée polymérisation. Il s'agit d'une réaction chimique en fonction du temps et de température. On distingue : cellulose, amidon, protéine..., qui correspondent à la notion de polymère par la structure et taille de leurs molécules (BAUDET, 2003).

### 2. Définition d'un monomère

Un monomère est une petite molécule de faible poids moléculaire telle qu'en tant qu'unité, se lie chimiquement avec d'autres molécules organiques pour former des super polymères moléculaires. Ils sont principalement composés de carbone (C), d'hydrogène (H), le rapport de l'oxygène (O<sub>2</sub>) à l'azote est faible (ANONYME, 2012). Les monomères sont liés à d'autres monomères par des liaisons chimiques, habituellement covalentes, formant de grosses molécules appelées polymères exemple de la résine phénolique (Figure 4).



**Figure 4** : Schéma d'un monomère de résine phénolique (ANONYME, 2012)

### 3. Polymérisation

La polymérisation est un terme générique décrivant la formation de tout type de réaction des polymères assemblés à partir de monomères à longue chaîne (SDP, 2010). Les plus courantes sont la polycondensation et la polyaddition (ANONYME, 2007).

**3.1. Polycondensation**

Il s'agit de monomères de différentes bases liées entre eux (LOWER, 2009). La réaction produit une petite molécule sous forme de résidu, généralement constituée de H<sub>2</sub>O ou HCl (CANTOR, 2011). Par exemple, lors de la polymérisation du polyéthylène téréphtalate (PET), chaque arrivée d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol provoquent la répulsion des molécules d'eau (OLIVIER, 2013).

**3.2. Polyaddition**

Il exploite l'ouverture de l'initiation des monomères (doubles liaisons ou triples) reliant tour à tour les monomères. Il requiert l'initiation par un catalyseur sur un premier monomère, puis la réaction se déroule spontanément dans la chaîne (REYNE, 1998). Les matières plastiques courantes issues de la polyaddition sont le polyéthylène (PE), polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC) (ANONYME, 2007). Quelle que soit la réaction, elle est généralement sous l'effet de la chaleur et de la pression (CANTOR, 2011).

**4. Classification des polymères****4.1. Selon leur origine****4.1.1. Polymères naturels**

Les polymères naturels sont issus du règne végétal, animal ou minéral. Leur importance est considérable, comme la famille des polysaccharides (cellulose, amidon et caoutchouc naturel, etc.) (FONTANILLE et GNANOU, 2010).

**4.1.2. Polymères artificiels**

Les polymères artificiels sont obtenus en modifiant chimiquement des polymères naturels, de façon à transformer certaines de leurs propriétés ; esters de cellulose (nitrocellulose, acétate de cellulose...) (FONTANILLE et GNANOU, 2010).

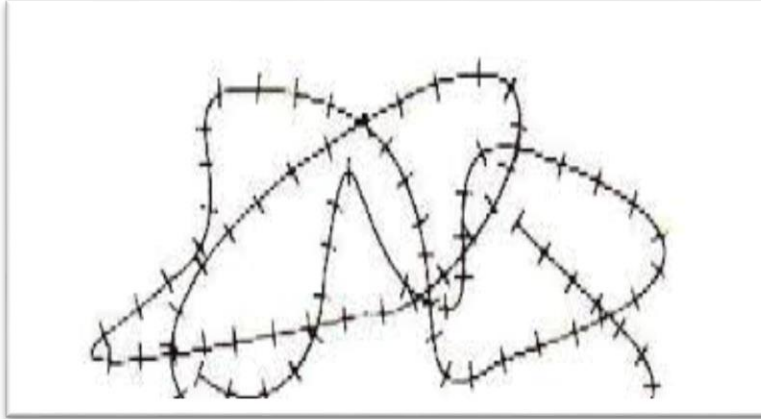
**4.1.3. Polymères synthétiques**

Les polymères synthétiques sont issus par une réaction dite de polymérisation, qui transforme des molécules simples appelées molécules monomères en un assemblage covalent d'unités monomères ou polymères : polystyrène, polyisoprène de synthèse, etc. (IUPAC, 1997).

**4.2. Selon leur structure****4.2.1. Polymères linéaires (ou monodimensionnels)**

Pour ces polymères, ce sont des chaînes macromoléculaires constituées d'un grand nombre mais des unités monomériques finies ; de tels systèmes correspondent à la polymérisation de

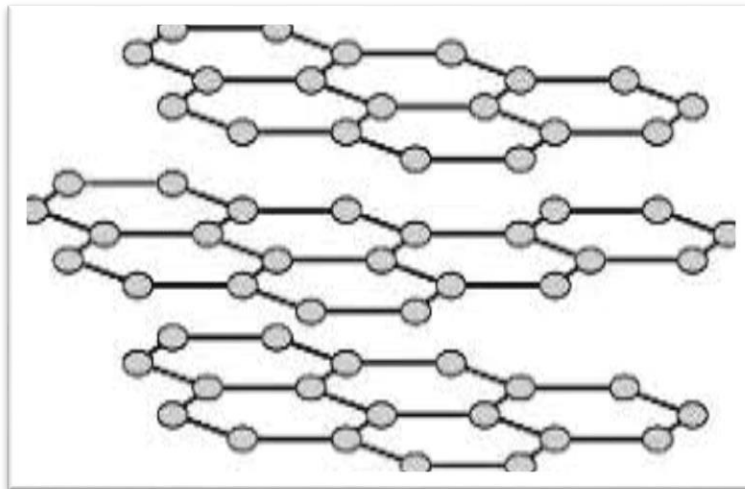
monomères bivalents. Les macromolécules linéaires peuvent être représentées très schématiquement par une ligne le continuum est divisé en intervalles représentant chacun une unité monomérique. Un ensemble d'une chaîne polymère est constituée d'entités avec une longueur d'attribut spécifiée par le terme poly moléculaire (Figure 5).



**Figure 5:** Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire (SMITHERS, 2011).

#### 4.2.2. Polymères bidimensionnels

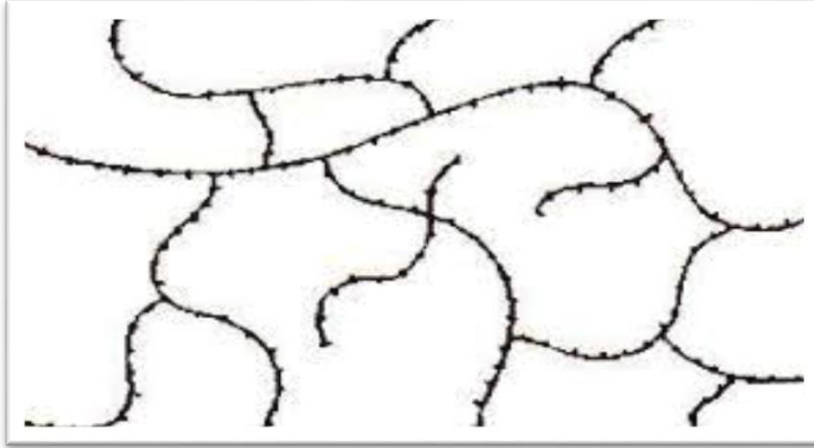
Certains de ces polymères peuvent être produits naturellement (carbone graphite, kératine, etc.). Ils se présentent sous la forme de feuilles bidimensionnelles d'une épaisseur similaire à molécule simple (Figure 6).



**Figure 6:** Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel (Carbone graphite), (SMITHERS, 2011).

### 4.2.3. Polymères tridimensionnels

Ces polymères ont une valence moyenne de plus de deux ou même réticulations de polymères par des moyens physiques ou chimiques linéaire (Figure 7).



**Figure 7:** Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel (SMITHERS, 2011).

## 4.3. Selon leur nature chimique

### 4.3.1. Polymères minéraux

Les polymères minéraux sont composés de chaînes contenant un seul corps simple (diamant, graphite, phosphore, soufre, etc.) ou chaînes contenant plusieurs hétéroatomes (silicate poly phosphorique, chlorure de poly phosphazène).

### 4.3.2. Polymères organiques

Les polymères organiques sont la classe la plus abondante et nous désignons : les polydiènes, polyacrylique, polyamide et polyéthylène.

### 4.3.3. Polymères mixtes

Ils possèdent des propriétés intéressantes dont une bonne résistance à la chaleur (300°C-500°C) comme le silicone.

## Chapitre 3 : Le Polychlorure de Vinyle

### 1. Définition de PVC

Le chlorure de polyvinyle, ou PVC en abrégé est un polymère synthétique (ou résine) qui est formé par l'addition répétée de monomères de chlorure de vinyle dont la formule est  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  (figure 8). C'est un polymère thermoplastique obtenu par polymérisation de monomère de chlorure de vinyle (VCM). Il se présente sous la forme d'une poudre blanche (CARREGA *et al.*, 2007), ajoutant différents auxiliaires : lubrifiants, stabilisants, plastifiants charges, etc. Il est composé de deux ingrédients : 57% de sel marin ( $\text{NaCl}$ ) et 43% de pétrole ; c'est la seule matière plastique constituée à plus de 50 % de matières premières d'origine minérale (DMONT *et al.*, 1996).

Le PVC est l'un des matériaux les plus polyvalents c'est –à-dire on peut en faire tout ce que l'on veut en fonction des additifs et des traitements qui lui sont apportés. Il peut être totalement rigide ou souple. Il est étanche, résistant aux UV et aux feux.

Le PVC rigide est principalement utilisé pour la fabrication de profilés et de tuyaux par extrusion. D'autre part, le PVC souple (ou PVC plastifié) est utilisé par exemple dans l'industrie de l'habillement et tapisserie (ALLIGNER *et al.*, 1984).

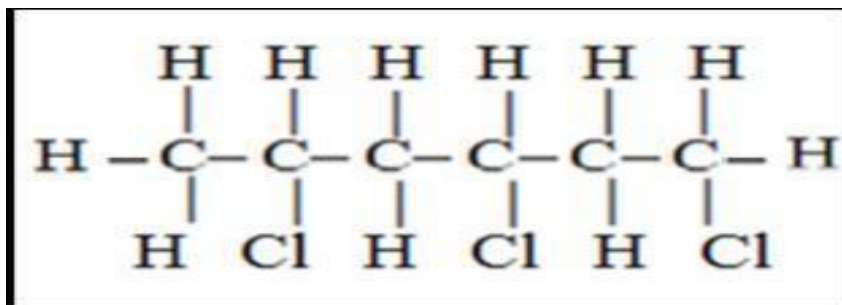


Figure 8 : formule chimique du PVC (ALLIGNER *et al.*, 1984)

Le PVC est une résine thermoplastique synthétisé du chlorure de vinyle monomère (figure 9). C'est une poudre inerte, inodore et inflammable (ANONYME, 1998)

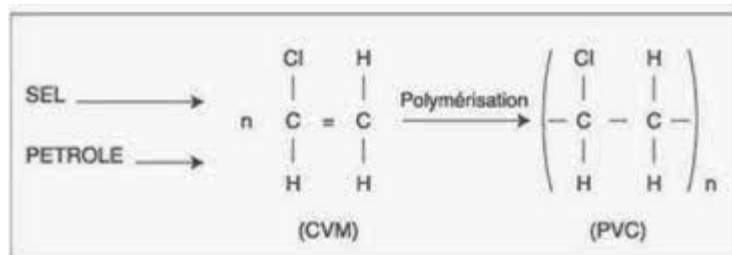


Figure 9 : Polymérisation de PVC (CAAMPS, 2004)

**2. Les propriétés de PVC****2.1. Propriétés mécaniques**

le PVC a une bonne rigidité à température ambiante ainsi qu'une excellente résistance à l'abrasion, en revanche il montre une certaine vulnérabilité au froid, notamment vulnérabilité aux chocs à des températures inférieures à  $-10^{\circ}\text{C}$  (CARREGA et *al.*, 2012).

**2.2. Propriétés chimiques**

le PVC non plastifié est très résistant à de nombreux produits chimiques, une gamme étendue d'application où cette qualité revêt une importance primordiale. En revanche, le PVC plastifié est sensible à certains solvants organiques (aromatiques, cétoniques et chlorés) (HADDAR, 2009).

**2.3. Propriétés physiques**

le PVC est un polymère amorphe, mais en l'occurrence localement trop court segment, le PVC peut être organisé en phase cristalline, mais le degré de cristallinité ne dépasse pas 10 à 15%. La densité du PVC est d'environ  $1,38\text{ g/cm}^3$ .

Le PVC amorphe est transparent et relativement perméable à la vapeur d'eau. Son poids moléculaire moyen est généralement donné par la "valeur K". Lorsque la valeur de K augmente, la résilience, la stabilité dimensionnelle thermique et la résistance au fluage augmentent, tandis que la transformation devient plus difficile (CARREGA et *al.*, 2007).

**3. Production de polychlorure de vinyle**

Le PVC est l'un des matériaux synthétiques les plus importants. La production mondiale de PVC représente plus de 20 millions de tonnes par an (alors qu'elle n'était que de 3 millions de tonnes en 1965), équivalant à environ un cinquième de la production totale de matières plastiques (ANONYME, 2000).

La matière première nécessaire à la fabrication du PVC est le chlorure de vinyle. Monomère (CVM), qui est un gaz dangereux responsable d'effet à court terme lors d'exposition à de fortes concentrations. Lors d'expositions prolongées à de faibles concentrations, il peut entraîner des effets à plus long terme. Ce gaz est transformé en un produit solide qui sera produit par polymérisation : il s'agit d'une réaction chimique, dans un vase fermé, il additionne les molécules du gaz monomère CVM pour obtenir un polymère (ANONYME, 2000).

La fabrication du PVC a lieu dans un autoclave dans lequel les monomères sont mélangés avec d'autres ingrédients (catalyseurs, dispersants, ect.) en milieu aqueux ou sec. Cette polymérisation est effectuée en boucle fermée suivie d'une opération de dégazage (à

l'aide du recyclage du CVM) et séchage du PVC (DARGNAT, 2004). La polymérisation du chlorure de vinyle est aujourd'hui réalisée en trois étapes :

Procédé de suspension ( micro- suspension ) ; le traitement par lots ; et le processus d'émulsification. La qualité et le processus de suspension permettent d'obtenir de la résine dont la taille des particules d'environ  $130\mu m$ , qui sont ensuite additivées et transformées sur des machines fournissant à la fois du cisaillement et de la chaleur. En revanche, les résines pour plastisols, sont constituées d'émulsions où la taille des particules de la microsuspension est beaucoup plus petite, environ  $10\mu m$ . Donc en effet, une fois ces résine ajoutées, sont réalisées par des techniques très différentes comme l'enduction (CARREGA et *al.*, 2007).

#### **4. Utilisations d'additifs dans le PVC**

les différents utilisations du PVC reposent sur des propriétés intéressantes du polymère, en raison du processus de conversion et de l'ajout d'additifs, des mesures peuvent être effectuées. C'est pourquoi il existe une grande quantité de types de PVC avec des propriétés différentes.

Les propriétés mécaniques du PVC peuvent varier d'une rigidité extrême à très grande flexibilité en maîtrisant l'ajout de plastifiants. Ajouter divers pigments permet la coloration du PVC (BOUTAMINE, 2013). Parmi ces additifs nous avons trouvé :

##### **4.1. Les plastifiants**

les plastifiants sont conçus pour ramollir le matériau de base et augmenter sa résistance aux chocs (DUVAL, 2004). Ce sont de petites molécules par rapport aux polymères. La rigidité des polymères thermoplastiques est liée à la présence des liaisons faibles entre les chaînes, le plastifiant doit être une macromolécule s'interposant entre les chaînes du polymère et diminuant donc plus ou moins le nombre de liaisons. Cela abaisse la température de transition vitreuse du PVC et d'obtenir un comportement flexible et une meilleure résistance aux chocs à haute température. La principale famille de plastifiants est celle des phtalates (CARREGA et *al.*, 2007).

##### **4.2. Les charges**

Les charges sont des substances ajoutées au polymère qui ne créent pas de liaisons. Les produits chimiques utilisés avec lui augmentent généralement la rigidité du matériau mais diminuent sa résistance mécanique. Ils diminuent également le retrait du moule, améliorent la résistance à la chaleur et l'aspect de surface (CARREGA et *al.*, 2007).

Les charges les plus couramment utilisées sont : la craie, le carbonate de calcium et le talc (BOUTAMINE, 2013).

### 4.3. Les lubrifiants

Les lubrifiants favorisent la transformation du PVC contribuent à ce que se dernier n'adhère pas aux surfaces de contact métalliques de la machine. Ce sont des cires organiques, alcools gras, acides gras, esters ou sels métalliques. Par conséquent, le rôle des lubrifiant est de maîtriser et régulariser ses forces de frottement.

D'après BOUTAMINE (2013), il exist deux grandes familles de lubrifiants :

- **Externes** : leur action vise à lutter contre les frottements sur les parois métalliques ils sont peu compatibles avec les polymères, ils facilitent le glissement des matières plastiques et en évitant les outils qui s'y collent, on utilise généralement de la paraffine et de la paraffine cire de polyéthylène.
- **Internes** : leur rôle est de lutter contre les frottements entre les molécules provoquant l'échauffements et éventuellement la dégradation thermique du polymère ; sont des lubrifiants compatibles avec le PVC pour éviter toute migration du polymère qui sont des dérivés d'alcools et d'ester d'acide gras, souvent de l'acide stéarique.

### 4.4. Les stabilisants

Les stabilisants sont ajoutés au polymère afin d'empêcher la dégradation par la chaleur et la lumière. Le choix du stabilisateur dépend de l'application et des exigences techniques, réglementation et prix de revient auxquels le produit doit se conformer.

L'effet de la stabilisation est double : réparer le chlorure d'hydrogène libéré pour empêcher les réactions autocatalytiques ; réagit aux liaisons insaturées pour éliminer les structures polygéniques. Les principaux stabilisants sont à base de : plomb, calcium /zinc et baryum/ cadmium.

### 4.5. Les pigments et colorants

Selon BONDOUX (2003), les polymères ont peu ou pas de couleur dans la nature. Cet ombrage aide à améliorer les objets. La coloration permet également d'améliorer la signalisation (ex : travaux routiers) et assurer également le camouflage. Il doit donc répondre à des exigences très différentes :

- Esthétique
- Technologie
- Sécurité
- Repérage
- Camouflage

On a l'habitude de parler de colorants pour les molécules organiques solubles dans les polymères qu'ils n'opacifient pas et de pigment pour les molécules minérales ou organiques (non solubles) et qui opacifient la matière (DUVAL, 2004).

## **5. Impact de polychlorure de vinyle**

### **5.1. Impact sur l'environnement**

La consommation de PVC a connu une forte croissance au cours des dernières décennies. Le confort et le bien être qu'elle a apporté ont aussi eu pour conséquence une augmentation de la quantité de déchets après utilisation (HRUSKA et *al.*, 2007).

Le chlorure de vinyle est l'un des produits chimiques classés comme étant cancérigènes pour l'être humain par l'agence NTP (National Toxicology Program) et le Centre International de Recherche sur le Cancer. C'est un anesthésique. Au contact des concentrations élevées, il peut provoquer des évanouissements. A très forte exposition à de fortes concentrations, il provoque également une dépression du système nerveux central chez l'homme avec étourdissements, vertiges, nausées, douleurs et autres symptômes maux de tête, irritabilité, troubles de la mémoire et perte de poids, irritation des voies respiratoires bronchite respiratoire et chronique (BONNARDE et *al.*, 2007).

#### **5.1.1. Impacts sur l'air**

La résine PVC est fabriquée à partir de monomères de chlorure de vinyle (CVM) carbonaté. En fait, le CVM est un gaz toxique. Cependant, la production a lieu dans le circuit fermé et des mesures draconiennes sont prises pour empêcher tout transfert dans l'écosystème (JACOBS et *al.*, 2007). Le PVC pur est très fragile. Pour le rendre suffisamment flexible, les plastifiants ne s'évaporent pas à température ambiante, mais il commence à migrer lentement hors du PVC peu de temps après sa fabrication. Il en résulte du PVC très périssable. Le chlorure d'hydrogène est un gaz corrosif et acide qui produit lors de la dégradation thermique du PVC. S'il n'est pas rapidement enlevé de la surface du plastique, la dégradation progresse trois fois plus rapidement qu'avant. L'acide corrode tous les métaux qu'il touche avant de se répandre (SHASHOUA, 2004). Lors de l'incinération du PVC et d'autres déchets, presque tout le plomb et le cadmium utilisé comme stabilisant thermique dans le PVC, est présent dans mâchefers et cendres volantes des incinérateurs. Les métaux lourds comme : le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le plomb (Pb), sont dispersés dans l'environnement et ne peuvent pas donc être exclus (HRUSKA et *al.*, 2002).

### 5.1.2. Impacts sur l'eau

Les matières plastiques sont largement utilisées dans la vie quotidienne et la quantité de déchets est importante, les produits augmentent chaque année (IKADA, 1999 ; MERSIOWSKY, 2002 ; MARCILA *et al.*, 2004). Les déchets plastiques ont colonisé tous les environnements marins et tous les niveaux trophiques : du zooplancton à la mégafaune. On estime aujourd'hui que 700 espèces marines sont directement impactées et qu'au moins 17 % sont sur la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) et répertoriées comme menacées (GALL and THOMPSON, 2015). Les conditions dans lesquelles les animaux sont impactés par pollution plastique sont multiples, étranglement, blessures, ingestion et accumulation de débris plastiques dans le système digestif. Les autres impacts néfastes du plastique sont moins évidents mais tout aussi sévères, comme l'accumulation de composés lipophiles, tels que les polluants organiques persistants (POPs), le transport d'espèces invasives et potentiellement pathogènes. La plupart des matières plastiques libère de nombreux polluants et toxiques, en particulier lorsqu'il s'agit de PVC (des métaux lourds comme additifs). Les phtalates, à la longue, se dégradent partiellement dans les installations courantes de traitement des lixiviats et des eaux. Ils s'accumulent sur les matières en suspension (DUVAL, 2004). Aujourd'hui, tous les phtalates utilisés en grande quantité dans les applications PVC sont partout dans l'environnement. Les phtalates sont présents en fortes concentrations, principalement dans les sédiments (RITSEMA *et al.*, 1989 ; PARKMAN et REMBERGER, 1995). Le plomb dans les milieux aquatiques s'accumule dans certains mollusques comme les huîtres et est concentré le long de la chaîne alimentaire (GAUJOUS, 1995 ; DESACHY, 2001). Dans les maisons plus récentes, le plomb dans la soudure peut s'infiltrer pendant des années jusqu'à ce qu'une couche d'oxyde protectrice se forme dans le tuyau. On risque de trouver du plomb surtout dans l'eau douce ou très acide ainsi que dans les maisons très anciennes ou qui viennent d'être construites (BLIEFERT et PERRAUD, 2004). Le cadmium est largement utilisé en galvanoplastie, il est également utilisé pour les joints de tuyaux. Au contact avec l'eau, la peinture de canette métal et tube plastique (stéarate de cadmium) peut accroître l'apport de cadmium. Ces substances et d'autres, conduisent à un abaissement de la teneur en O<sub>2</sub> du milieu (par dégradation), éventuellement à un phénomène de moussage et à long terme, l'eutrophisation puis, la mort des poissons (POHLAND, 1991).

## 5.2. Impact sur la santé

De nombreuses études et enquêtes épidémiologiques ont identifié sa cancérogénicité. Malheureusement, de nombreux tests de laboratoire ont confirmé ce potentiel cancérigène du chlorure de vinyle chez les cobayes exposés par inhalation ou exposition par voie orale. Ainsi, le risque cancérogène du PVC a été affirmé sous deux aspects. Le danger cancérogène du PVC a donc été confirmé avec certitude tant chez l'homme que chez l'animal de l'aboratoire. Il est considéré comme le plus toxique. Les phtalates (DEHP ou BBzP) utilisés comme plastifiants sont des perturbateurs endocriniens imitant l'œstrogène. Ils peuvent aussi déclencher des convulsions, asthme, réactions allergiques et cancer du foie, des reins, de la rate, les os et de poids. Le PVC est présent dans les jouets, les emballages plastique transparents, film étirable (JAY et CHANTAL, 2014).

Cocernant les stabilisants thermiques, les stabilisants à base de plomb sont plus utilisés actuellement. La plupart de leurs composés y compris ce qui sont utilisés dans le PVC, sont classés comme substance toxique et présente un risque d'effet cumulatif.

Dans le corps humain, ce métal existe principalement sous forme de composé inorganique : dans le système respiratoire, sous forme d'aérosols contenant du plomb (absorbé par les poumons), dans les aliments et les boissons (par les intestins et l'estomac). Le plomb est l'une des raisons les plus importantes encore aujourd'hui d'intoxication au travail (VIALA et BOTTA, 2005). Une partie du plomb incorporé dans le corps sera éliminée par l'urine, mais la plus grande partie est essentiellement stockée dans les os où il prend la place du calcium. De même, le plomb bloque les groupes thiol, des enzymes sont libérées ; il en résulte un trouble sanguin qui se manifeste par la fatigue, la perte d'appétit et des coliques douloureuses, une peau pâle et une faiblesse musculaire (BLIEFERT et *al.*, 2004).

Les dommages causés par le plomb ne dépendent pas seulement de la dureté et de la gravité d'exposition, mais surtout de l'âge auquel elle survient. Les enfants exposés au plomb sont victimes de troubles neurologiques aux symptômes vagues : fatigue, sommeil, douleurs abdominales, constipation et anémie (DEOUX, 1993).

## 5.3. Impact sur le sol

### 5.3.1. Effets sur les végétaux

Le plomb pénètre dans les plantes de deux façons. D'une part, il est absorbé par les stomates foliaires ; la majeure partie du plomb est transportée à la surface des plantes sous forme de poussière ou de solution, est seulement adsorbée et peut même, après un certain

temps, être enlevée par lavage. En revanche, le plomb parvient dans les plantes à travers les racines et il empêche la synthèse de chlorophylle. Mais le transfert des composés du plomb depuis le sol jusqu'aux plantes est extrêmement faible. Ce qui explique sa faible accumulation dans les plantes par rapport à la quantité de ce métal présent dans le sol (VIALA et BOTTA, 2005).

### **5.3.2. Effets sur les organismes vivants**

La perturbation du biome modifie les communautés microbiennes en faveur des espèces pathogènes qui peuvent causer directement des maladies humaines (fumée, lixiviats, etc) et indirectement par la chaîne nutritive (par exp : lait de vache au pâturage, herbe contaminée) tandis que les espèces saprophytes, comme les décomposeurs et minéralisateurs impliqués dans différents cycles biogéochimiques sont raréfiées voire exclues, limitant ainsi la formation des sols (PARKMAN et REMBERGER, 1995).

## **6. La toxicité des additifs**

### **6.1. Les stabilisants**

les métaux lourds sont des polluants produits par les activités humaines, avec de forts effets toxicologiques. Il existe de nombreux métaux toxiques, mais on peut citer spécifiquement : le plomb, le zinc, le cadmium et le mercure. Ils affectent les plantes, les produits de consommation courants et l'homme.

#### **6.1.1. Plomb (Pb) :**

A l'état naturel, c'est un métal gris malléable qui existe dans toutes les compartiments : hydrosphère, lithosphère, biosphère et atmosphère. Nous comprenons pourquoi le plomb est présent dans notre environnement est un enjeu majeure (KONIG, 2011).

Les effets toxiques du plomb peuvent se manifester à plusieurs endroits de l'organismes, bien que le système nerveux y soit plus sensible, et ce, particulièrement chez le fœtus et des jeunes enfants où leur cerveau et leur système nerveux sont en développement. Chez eux, et à des concentrations élevées peuvent provoquer une encéphalopathie (gonflement du cerveau ou même la mort). Les effets toxiques du plomb peuvent également se manifester par une anémie, il inhibe l'enzyme responsable de la synthèse d'un des composants de l'hémoglobine. Comme la plupart des métaux, le plomb induit diverses maladies rénales bien que cette forme de toxicité soit rare aujourd'hui (DI BENEDETTO, 1997).

**6.1.2. Zinc (Zn) :**

Le zinc est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Entre 0,9 mg/kg et 169mg/kg. Sous sa forme métallique, il a un aspect blanc bleuté, par une bonne résistance à la corrosion. La structure chimique et physique du zinc est très similaire à celle du cadmium (ROBERT-NADEAU, 2012).

L'intoxication aigue au zinc est rare ; elle provoque des problèmes gastro-intestinaux et diarrhée. L'inhalation chronique de zinc, peut mener à une diminution du nombre de globules rouges. Inhalation aigue l'oxyde de zinc peut provoquer des symptômes associés à la fièvre : douleurs thoraciques, fièvre, nausées, toux, tremblements et augmentation des globules blancs. Le potentiel cancérigène du zinc n'a pas encore été prouvé. De plus, une carence peut être nocive pour l'homme (DI BENEDETTO, 1997).

**6.1.3. Mercure (Hg) :**

Le mercure est un métal argenté liquide à température ambiante. Sa pression de vapeur est élevée. Le métal est très réactif au milieu dans lequel il se trouve (température, composition chimique, etc). Il existe dans l'environnement sous différentes formes élémentaire, inorganique ou organique. Le mercure n'est pas un métal vital pour l'homme. Il fait partie de la catégorie métaux lourds. Il est classé comme élément dangereux pour l'homme et les écosystèmes (THOMASSIN et *al.*, 2003). Il peut interagir dans les organismes avec les molécules qui composent les cellules vivantes (acides, le noyau, les protéines etc), modifie leur structure ou inhibe leur activité biologique. Le mercure s'est avéré être un élément toxique, en particulier néphrotoxique, c'est-à-dire, agit sur les reins et le système nerveux. Les symptômes sont des troubles mentaux plus ou moins graves, une bave excessive (ptyalisme), douleurs abdominales, vomissements, urémie (accumulation d'urée) associé à une fonction rénale altérée (DI BENEDETTO, 1997).

**6.1.4. Cadmium (Cd) :**

Le cadmium est un élément chimique qui appartient à la famille des métaux lourds. C'est un métal bleuté, mou et malléable, avec une forte résistance aux oxydation et une bonne électroductibilité (OUANOUGHY, 2004).

Le cadmium est un métal qui n'est pas essentiel à la vie. Une fois absorbé, il se disperse dans les tissus ; les concentrations les plus élevées se trouvant principalement dans les reins, les os et poumons. Le cadmium a une affinité particulière pour le rein, car ce dernier a une synthèse endogène de métallothionéine insuffisante pour tout le capter. Première manifestations néphrotoxiques avec élévation surviennent lorsque les concentrations urinaires

de cadmium atteint 10µg/g de créatinine. Il y a un risque accru de cancers de la prostate, du rein et de la vessie via une exposition par ingestion ou inhalation (DI BENEDETTO, 1997).

### **6.2. Les phtalates**

Les phtalates sont une classe de plastifiants tels que le PVC. Leur particularité est d'apporter une certaine souplesse aux plastiques. On les retrouve dans divers produits comme les peintures, les encres et les parfums synthétiques, les produits pharmaceutiques, les équipements médicaux, les emballages alimentaires, les jouets, etc. Les phtalates sont donc très répandus dans l'environnement et la population y est régulièrement exposée (ANONYME, 2012). L'exposition humaine aux phtalates peut s'effectuer de diverses façons. Par la migration des phtalates dans les aliments, l'absorption par l'épiderme des cosmétiques ou par inhalation d'air contenant des phtalates. De plus, les jeunes enfants peuvent également être exposés en portant des jouets en PVC dans la bouche (BERGE, 2012). Des composés tels que le DEHP (phtalate de diéthylhexyle ou phtalate de dioctyle) ajoutés à des centaines de milliers de tonnes de PVC, donnant au matériau final une flexibilité, a été classé par l'UE (Union Européenne) en catégorie 2, toxique pour la reproduction. Le phtalate de diisobutyle a les mêmes propriétés. Ce sont des composés cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR) (PEZERAT, 2008).

### **6.3. Les charges**

La charge est noyée dans la matière plastique, la plupart des charges sont inoffensives et non migrantes. Le danger de leur existence est incorporé dans les résines, lors de l'usinage : danger à inhalation de poussières dégagées (amiant, silice, talc) ou contact direct avec l'épiderme (FARHI et al., 2006).

### **6.4. Les pigments et les colorants**

Les composés à base de plomb sont des produits dangereux avec des effets cumulatifs sur les systèmes nerveux, digestif, sanguin et rénal. Les chromates sont sensibilisants et irritants pour la peau, les voies respiratoires et peut affecter un rôle dans l'apparition de certains cancers du poumon (FARHI et al., 2006).

## Chapitre 4 : Biodégradation des plastiques

### 1. Définition

#### 1.1. Dégradation

La dégradation du matériau signifie la perte de ses propriétés physico-chimiques (VERT et *al.*, 1992). Dans le cas des matériaux polymères, cette perte de performance peut être en raison de changements physico-chimiques lors de l'assemblage macromoléculaire qui forment le matériau et/ou après la décomposition de ces macromolécules. Cependant, plusieurs situations doivent être distinguées :

\*dégradation partielle du matériau entraînant la formation de fragments de macromolécules éventuellement plus petites mais très similaires au matériau d'origine d'un point de vue chimique.

\*le matériau et les macromolécules se dégradent totalement, entraînant une rupture des chaînes macromoléculaires causée par des processus chimiques tels que l'hydrolyse ou l'oxydation, ou par les agents biologiques tels que des micro-organismes ou l'action d'enzymes, ou une combinaison des deux (VERT et *al.*, 1992). Produits de dégradation, les résultats peuvent être dispersés dans l'environnement sans former d'interactions, ou peuvent être intégrés dans le cycle biologique et convertis en eau et en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ils peuvent également être assimilés par des micro-organismes, donc aidés à former une nouvelle biomasse.

Il existe différents types de dégradation :

- Dégradation abiotique : causée par des facteurs conditions physiques tels que l'oxygène, l'eau ou la lumière.
- Dégradation biotique : due à la biodégradation des micro-organismes dans des conditions naturelles.

Ces deux modes de dégradation peuvent se lier et provoquent divers degrés de dégradation du polymère (fragilise, rompu, dissous) (CALMON-DECRIAUD et *al.*, 1998).

L'ISO a établi une définition du terme « dégradation » et « détérioration » (VERT et *al.*, 1992). La dégénérescence d'un matériau peut être définie comme un changement dans la structure chimique d'une substance. Les plastiques entraînent des changements de performance. La détérioration est une modification permanente dans les propriétés physiques d'un plastique mise en évidence par une altération de ses propriétés.

**1.2. Biodégradation**

Selon FEUILLOLEY 1999, un dictionnaire classique définit le terme biodégradable comme suit : « fait référence à un produit industriel qui, s'il est laissé sans surveillance, peut être détruit par des bactéries ou autres produits biologiques ». Cette définition décrit les matériaux biodégradables comme un matériau capable de prendre en charge sa propre élimination.

Les polymères biodégradables sont devenus très populaires, mais la définition de ce terme n'est pas toujours claire et donne lieu à de nombreuses interprétations : exacerbation ou perte de l'intégrité physique. De nombreux polymères dits « biodégradables » sont en fait « biodégradables », « hydro dégradables », « photodégradables », etc. l'emploi du terme biodégradable pour qualifier certains plastiques a conduit les différents organismes de normalisation (ISO, ASTM, DIN, JPBS, CEN) à établir des définitions de concepts plastiques biodégradables.

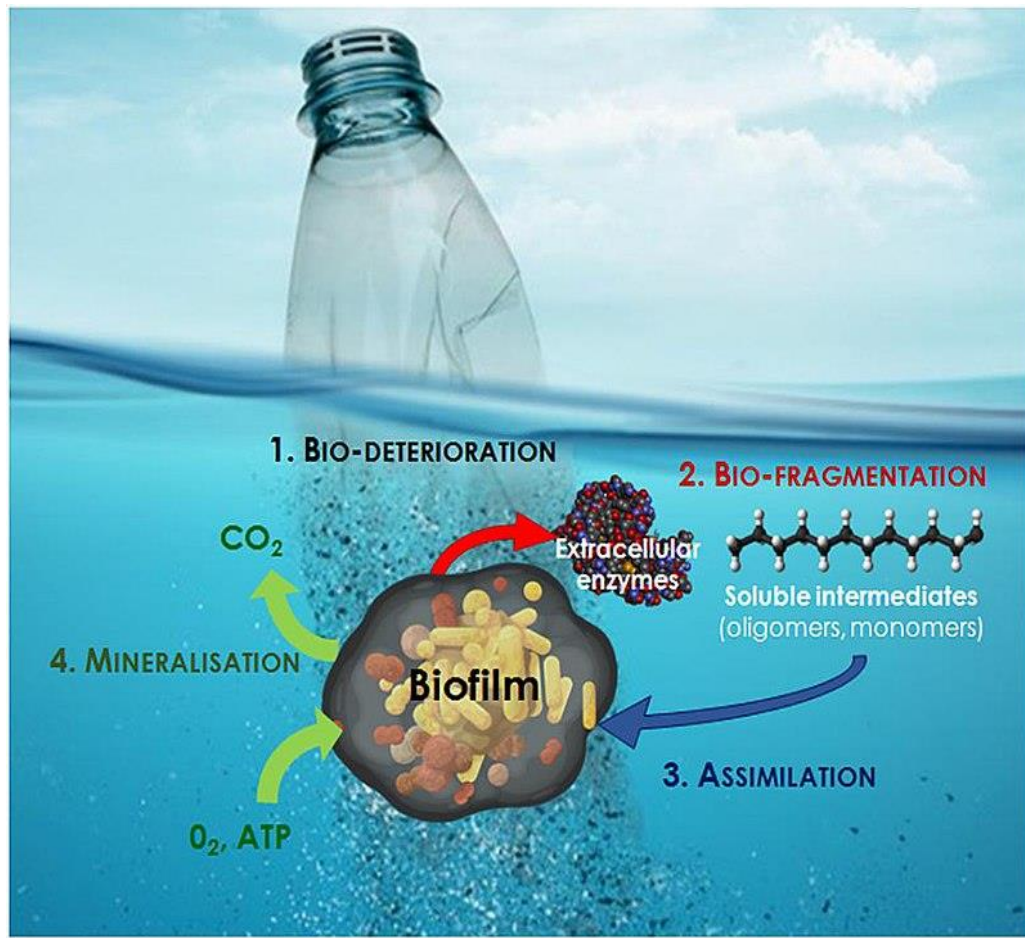
La biodégradabilité primaire ou simplement « facilement biodégradable » est une structure chimique. Le résultat est une perte de propriétés spécifiques du polymère. Mesurer les polymères pour des applications durables est important (bâtiments, voitures, etc.).

Biodégradabilité ultime (ou inhérente), « intrinsèquement biodégradable » ou minéralisation, implique des matériaux complètement dégradés par les micro-organismes, produit du dioxyde de carbone (aérobie) ou du méthane (anaérobie), de l'eau, des sels minéraux et de nouveaux composants cellulaires (biomasse).

Définition de la « biodégradabilité » et de « biodégradation » en relation avec les plastiques peuvent être respectivement « décrite comme des processus induits par l'activité biologique provoquant la transformation de la structure chimique du matériau en métabolites naturel » et « si le plastique est biodégradable dans toutes les conditions » (MÜLLER et *al.*, 1994).

**2. Les différentes étapes de biodégradation**

La biodégradation peut être résumée en quatre étapes (DUSSUD et GHIGLIONE, 2014) (Figure 10) :



**Figure 10** : Différentes étapes de biodégradation du plastique en mer (JACQUIN et *al.*, 2019)

**2.1. La bio-détérioration :**

Elle implique une modification de l'aspect physique du plastique tel que la croissance de biofilms à sa surface et à l'intérieur, qui augmente la taille des pores et provoque des fissures donc c'est une détérioration physique. En outre de cette dernière s'ajoute la modification des propriétés chimiques des plastiques suite à des composés libérés, les acides qui modifient le pH dans les pores provoquant des changements de la microstructure de la matrice plastique (altération chimique).

**2.2. La bio fragmentation :**

Correspond à l'action des enzymes extracellulaires (les oxygénases, les lipases, les estérases, les dépolymérase et d'autres enzymes qui peuvent être aussi diverses que le large spectre des types de polymères) libérée par la colonisation bactérienne à la surface du polymère. Ces enzymes réduisent le poids moléculaire du polymère et libèrent des oligomères puis monomères assimilables par les cellules.

**2.3. L'assimilation:**

Permet l'incorporation d'oligomères inférieurs à 600 daltons utilisés dans les cellules comme source de carbone, augmentant ainsi biomasse microbienne.

**2.4. La minéralisation :**

C'est la transformation complète des plastiques en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et molécule inorganique. Aussi c'est l'étape ultime de la biodégradation d'un polymère plastique et entraîne l'excrétion de métabolites complètement oxydés (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O).

**3. Taux de dégradation plastique**

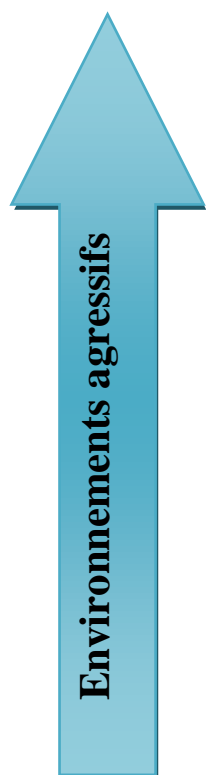
La biodégradation n'est pas un processus limité dans le temps. Cependant, les polymères continuent de s'accumuler en mer, ceci est lié à la vitesse à laquelle les déchets plastiques pénètrent dans l'environnement marin qui est bien plus rapide que celui de la biodégradation (tableau3).

Le milieu marin n'est pas agressif et favorise une biodégradation intense par rapport au compostage (industriel ou domestique) ou à la digestion anaérobie (tableau3). Les microorganismes dégradent les plastiques traditionnels à un rythme extrêmement faible, même dans des conditions de laboratoire optimisées. La plupart des plastiques les huiles conventionnelles sont difficiles à biodégrader dans l'environnement marin, et dans la terre

entraînant des durées de vie des polymères de plusieurs décennies, voire siècles (KRUGER et *al.*, 2015).

Les plastiques ont une faible biodisponibilité car ils sont généralement solides, liés entre eux par des liaisons fortes, ils offrent une faible accessibilité aux micro-organismes et aux enzymes limités à la couche la plus externe de la feuille du plastique. Dans l'écosystème, les plastiques sont biodégradés par le métabolisme aérobie des micro-organismes, autrement dit, les produits finaux de la réaction seront la biomasse microbienne, le CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. Les voies de biodégradation anaérobie seront plus fréquentes dans les sédiments et devaient être plus lentes que dans la zone pélagique (ISHIGAKI et *al.*, 2004). Le rapport C/N défavorable est un facteur clé dans la biodégradation d'autres produits d'hydrocarbures dans l'océan (SAURET et *al.*, 2016) et peut limiter la biodégradation des plastiques. Les données actuellement disponibles reposent principalement sur des approches culturelles dans des conditions de laboratoire, bien que les bactéries pouvant être cultivées soient inférieures à 1% de la diversité totale trouvée dans l'environnement (HUGENHOLTZ et *al.*, 2009). A présent les données sur le taux de minéralisation du plastique dans l'océan sont en fait encore inexistantes.

**Tableau 3 :** Comparaison des différents environnements influençant le taux de biodégradation des plastiques (KRUGER et *al.*, 2015)



Environnements	Conditions
Compost industriels	Haute température (>58°C) <i>Champignons et Bactéries</i>
Digestion anaérobie	Température élevée (20-45°C) <i>Bactéries</i>
Compost domestique	Température ambiante (20-30°C) <i>Champignons et Bactéries</i>
Sol	Température ambiante <i>Bactérie seulement</i>
Eau douce	Température ambiante <i>Bactéries seulement</i>
Eau de mer	Température ambiante (<5 à > 20°C) <i>Bactéries et Champignons dilués</i>
Décharge	Température ambiante <i>Bactéries seulement</i>

**Matériel  
et  
méthodes**

## 1. Etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle dans le sol

### 1.1. Produits utilisés

#### 1.1.1. La Résine de PVC

SHINTECH SE 1200 grade 1 est une résine du PVC produite par la société Américaine INC USA, polymérisée en suspension dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 4

**Tableau 4 :** Caractéristiques de la résine de PVC (ANONYME, 2002).

Caractéristiques	Méthode	Unité	Valeur
Aspect	/	/	Poudre blanche
Viscosité	ASTMD1243	/	1,01-1,012
Valeur de K-Wert	/	/	71,1
Densité	ASTMD1895	g/cm <sup>3</sup>	0,509-0,520

#### 1.1.2. Les Plastifiants

Les plastifiants utilisés dans la préparation des différentes formulations sont des liquides huileux limpides dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 5 et 6. Ces plastifiants sont fournis par la société générale des plastifiants (Tunisie).

##### 1.1.2.1. Plastifiant di-isononyleadipate (DINA)

**Tableau 5 :** caractéristiques du plastifiant di-isononyleadipate (DINA) (ANONYME, 2003).

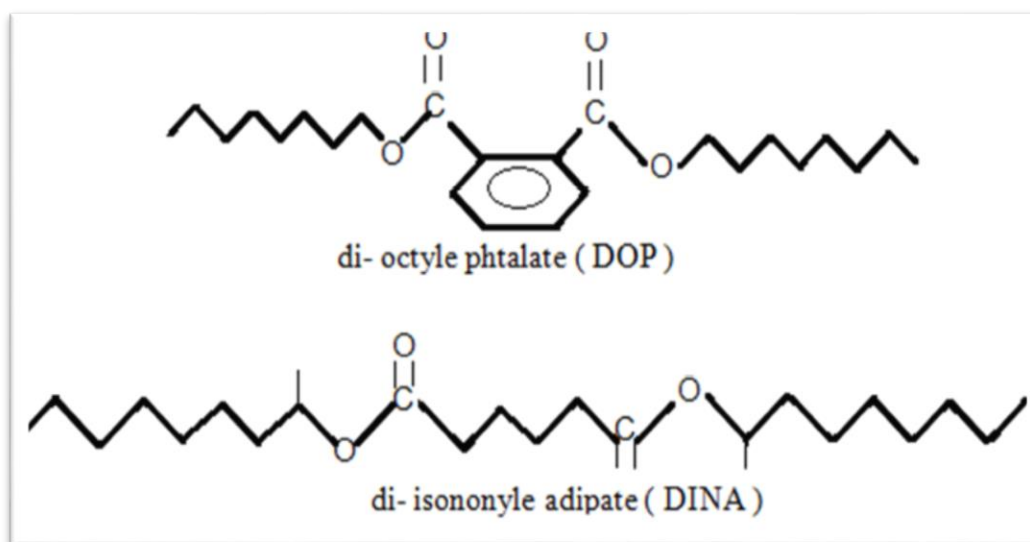
Caractéristique	Méthode	Unité	Valeur
Masse molaire	/	g/mol	398,6
Densité à 20 °C	DINA ASTM 51 562 D1298	g/cm <sup>3</sup>	0,922-0,924
Acidité	53 402 D1613	g KOH/g	Max 0,07
Viscosité à 20 °C	51 562 D445	MPa.s	19-23
Teneur en eau	51 777 D1364	%	Max 0,1

## 1.1.2.2. Plastifiant di-octylephtalate (DOP)

**Tableau 6 :** Caractéristiques du plastifiant di-octylephtalate (DOP) (ANONYME, 2003).

Caractéristiques	Méthode	Unité	Valeur
Masse molaire	/	g / mol	390,6
Densité à 20 °C	ASTM D1045-86	g / cm <sup>3</sup>	0,983 – 0,987
Acidité	ASTM D1045-86	g KOH / g	< 0,1
Viscosité à 20 °C	ASTM D 445-88	Cst	80 – 85
Point d'inflammabilité	D93- 90	°C	≥ 190
Teneur en eau	ASTM E203-90 Karl Fischer	%	< 0,1

Les formules chimiques des deux plastifiants utilisés sont les suivantes (Figure 11) :

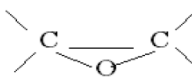


**Figure 11 :** Les formules chimiques des deux plastifiants utilisés (ANONYME, 2003).

## 1.1.3. Les stabilisants thermiques et le lubrifiant

Les caractéristiques des stabilisants thermiques et du lubrifiant utilisés dans la préparation de différentes formulations sont regroupées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques des stabilisants thermiques et du lubrifiant utilisés.

Produit	Nature	Formule chimique	Nom commercial	Fournisseur	Aspect
Stabilisants thermiques	Huile de tourne sol époxydée (HTE)		/	Ecole nationale polytechnique (Algérie)	Poudre blanche
	Huile de soja Epoxydée (HSE)	/	/	Akdinizkimia (Turquie)	Liquide jaune clair
Lubrifiant	Acide stéarique	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	Stéarine JOS	SO.G.I.S SPA (Italie)	Ecailles blanches

L'époxydation de l'huile de tournesol a été effectuée à 50 °C, en utilisant l'acide peracétique préparé in situ en faisant réagir le peroxyde d'hydrogène (30% V/V) avec un excès d'acide acétique glacial en présence de la résine échangeuse d'ion Amberlite IR 120. Le taux d'oxygène oxyrane (O.O) est de 6,4 % (BENANIBA et al, 2001). La formule chimique de l'HTE est la suivante :

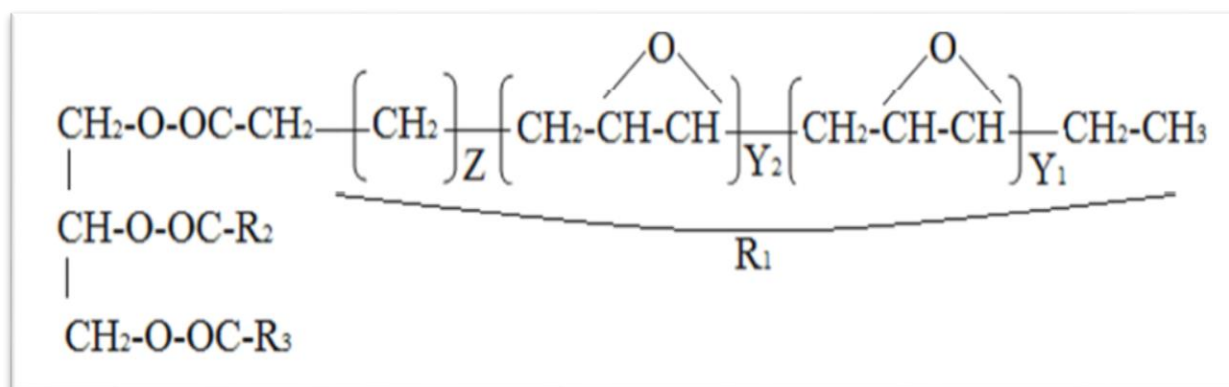


Figure 12 : La formule chimique de l'HTE (BENANIBA et al., 2001)

R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub> peuvent être identiques ou différents de R<sub>1</sub> du point de vue du nombre de groupements époxydes présents. Le taux d'oxygène oxyrane de l'HSE est de 6%.

## **1.2. Les formulations de PVC utilisées**

Pour notre étude, nous avons réalisé trois formulations plastifiées : (DINA, HTE), (DOP, HTE) et (DOP, HSE). La résine de PVC et les additifs (plastifiants, stabilisants thermiques et lubrifiant) sont mélangés à froid. Le mélange obtenu est introduit alors dans un mélangeur à deux cylindres rotatifs chauffés à 140 °C pendant 15 à 20 mn. Le mélange gélifié est ensuite placé entre deux plateaux d'une presse de table de marque Fontigine à 170 °C sous une charge de 300 KN pendant 5 mn afin d'obtenir l'épaisseur désirée (2 mm environ).

### **1.2.1. Description de l'essai**

Pour mettre en évidence le comportement et la migration des additifs de nos formulations de PVC dans le sol et les modifications induites sur les caractéristiques biologiques du sol et physicochimiques du PVC, nous avons opté pour un vieillissement naturel de PVC dans le sol et cela dans des conditions bien définies. Quatre éprouvettes de dimensions de 40 x 20 mm chacune des trois formulations ont été enfouies dans trois parcelles du sol homogènes de dimension 1 x 0,7 m et à 20 cm de profondeur, dans des conditions de température, humidité, ventilation et lumière naturelles, des prélèvements réguliers du sol et du témoin en parallèle avec les prélèvements des éprouvettes ont été effectués dans les trois premiers mois et le dernier prélèvement après six mois d'enfouissement voir la figure . Le site d'enfouissement est situé à Ait Mendes à 40 km du chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou.

# **Résultats et discussions**

## 1. Etude de comportement des formulations dans le sol

### 1.1. Caractéristique du sol utilisé

#### 1.1.1. Texture du sol (granulométrie) et analyse physicochimique et biologique

Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol, ainsi que la répartition granulométrique sont représentées dans les tableaux tableau 8 et tableau 9

**Tableau 8 :** Analyse granulométrique du sol

Gamme granulométrique $\mu\text{m}$	Argile % ( $< 2\mu\text{m}$ )	Limon % ( $2-60 \mu\text{m}$ )	Sable % ( $60- 2000 \mu\text{m}$ )
	27	28	45

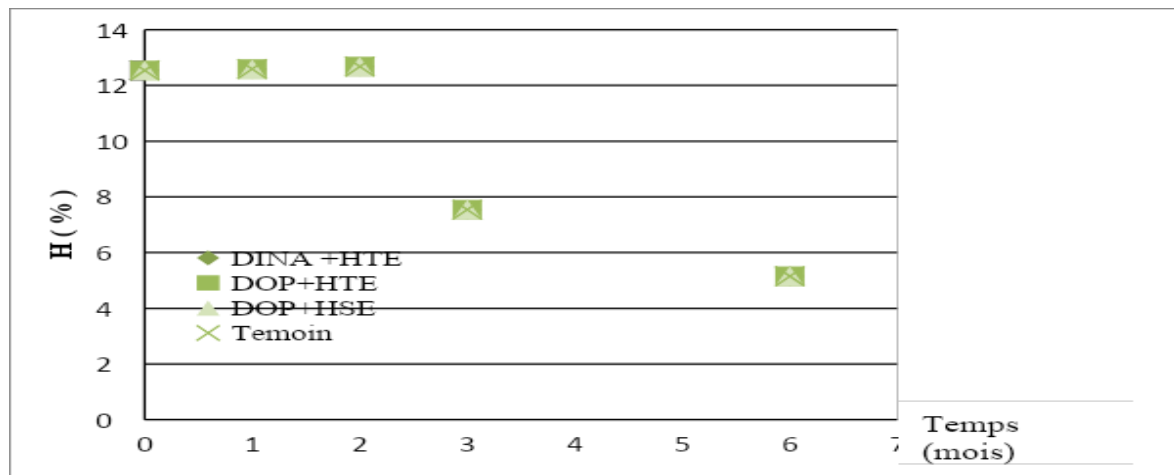
Le tableau 9 montre que l'analyse granulométrique du sol est de nature limono-argilo-sableux.

**Tableau 9 :** Analyse physicochimique et biologique du sol

Paramètre	Résultat
Profondeur (cm)	$20 \pm 5$ cm
pH	7,65
Carbone organique total COT (mg/l)	6,5
Azote nitrique (nitrate) $\text{NO}_3^-$ (mg/l)	210,4
Phosphore total $\text{PO}_4$ (mg/l)	2,75
Biomasse initiale N0	$1.10^4$

#### 1.1.2. Suivi de l'humidité dans le sol

L'évolution de l'humidité au cours de l'essai a subi des changements comme le montre la figure 13.



**Figure 13 :** Evolution de l'Humidité en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol

Nous constatons que le taux d'humidité du sol varie entre 12 % durant le premier et le deuxième mois d'enfouissement puis une légère diminution de l'ordre de 7 % a été observée à partir du troisième mois. L'humidité de notre sol d'essai est relativement faible mais elle reste suffisante pour la croissance bactérienne (LEAHTY et COLWELL, 1990).

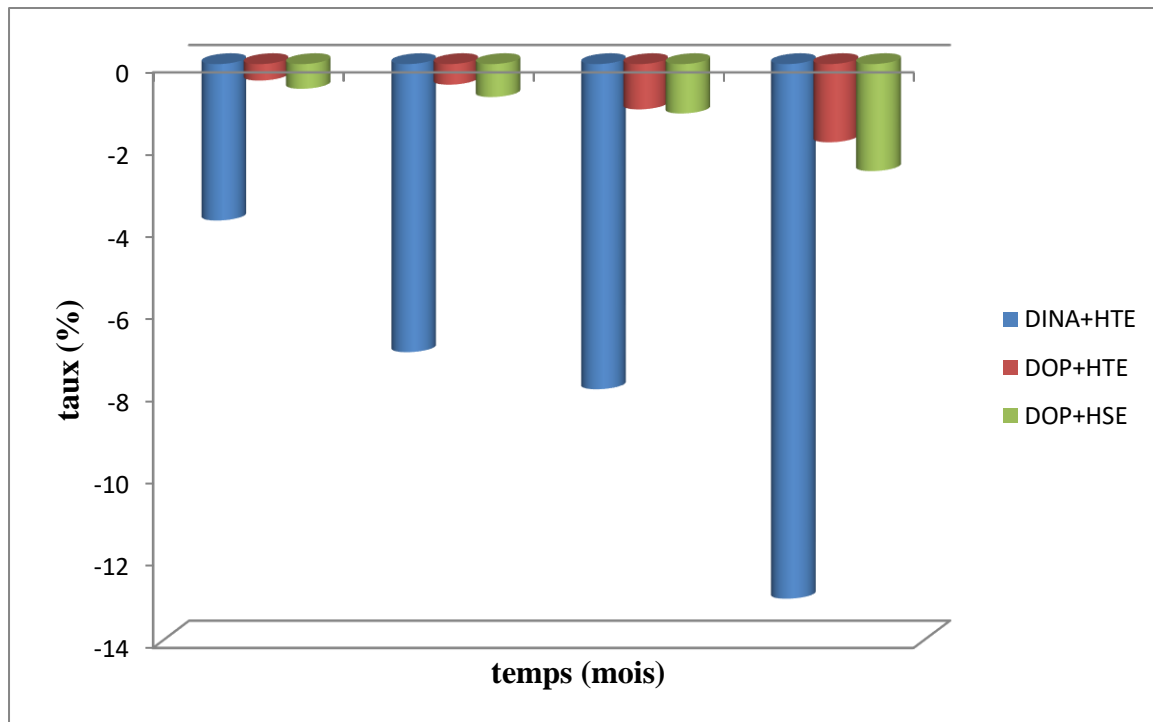
### 1.1.3. Essai de variation de masse

Le résultat de l'étude préliminaire de la migration globale basée sur le taux de variation masse des éprouvettes en fonction du temps d'enfouissement dans le sol est représenté dans la figure 14.

L'intérêt de suivre l'évolution du taux de variation de masse réside dans le fait que s'il y a :

- Augmentation, on peut parler d'un gain de masse qui laisse supposer qu'il y a eu pénétration de l'eau dans l'éprouvette ;
- La diminution de ce rapport est synonyme de la diminution de la masse (mt) ce qui signifie la migration de certaine quantité d'additifs de l'échantillon vers le sol.

La figure 14 montre une diminution du taux de variation de masse pour les trois formulations considérées sur le long de la période d'essai qui signifie une migration des additifs du PVC vers le sol.



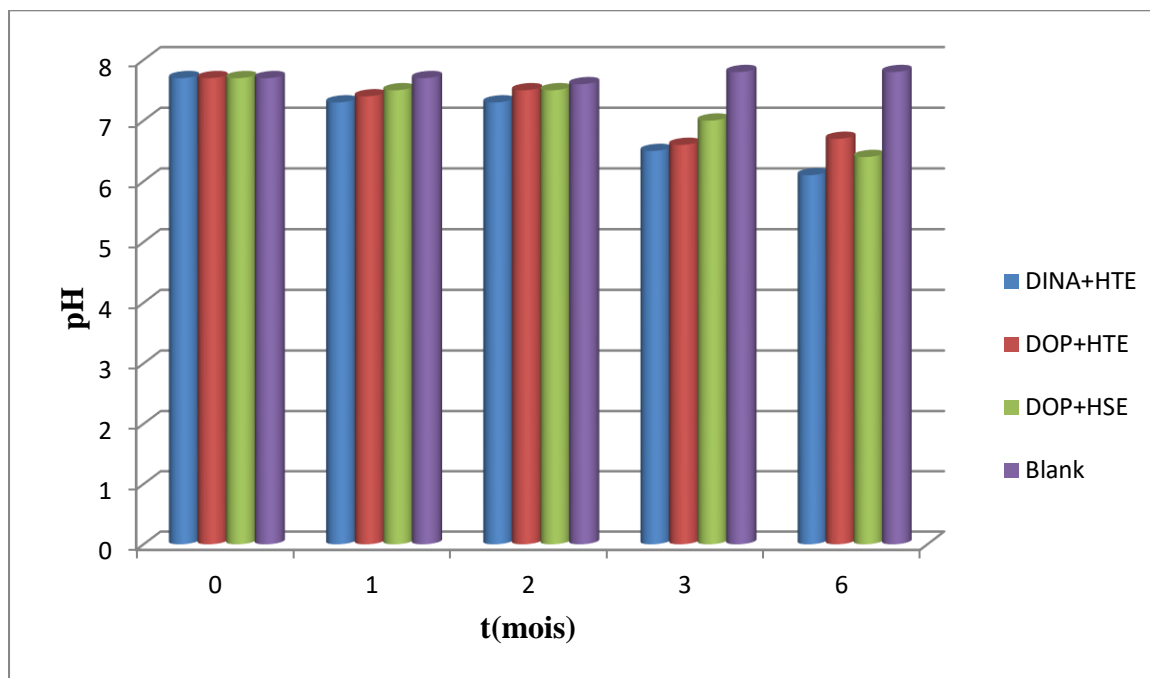
**Figure 14 :** Evolution du taux de variation de masse en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol.

Nous remarquons une migration importante pour la formulation (DINA + HTE) après six mois d'enfouissement. Cela s'explique par la perte des additifs du PVC et l'assimilation du plastifiant di-isononyl adipate (DINA) par les microorganismes, la biodégradation dans ce cas est rapide vu la structure linéaire de ce plastifiant par rapport au DOP qui possède un noyau aromatique résistants (LARDJANE et *al.*, 2013). De plus, il peut être noté que la diminution de la masse des échantillons plastifiés par le DINA est supérieure à celle des échantillons plastifiés par le DOP. Ce comportement peut être expliqué par la différence de viscosité des deux plastifiants. En effet, le DINA présente une viscosité plus faible que celle du DOP, donc il peut s'insérer plus facilement entre les chaînes du polymère et réduire les interactions inter chaînes (MARCILA et *al.*, 2004).

#### 1.1.4. L'évolution du pH dans le sol

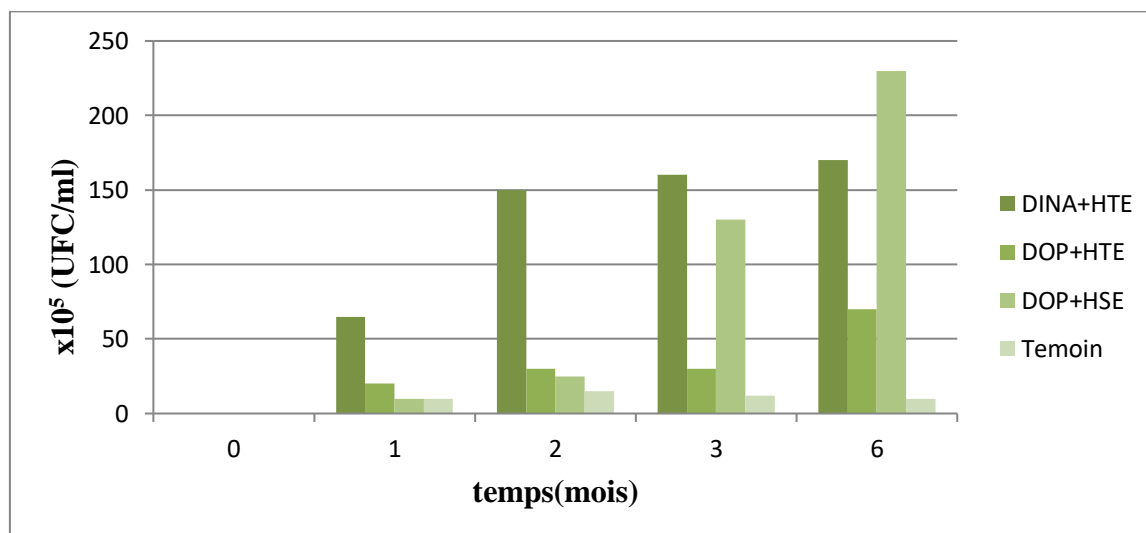
La figure 15 montre une même allure dans le cas des trois formulations considérées. La valeur du pH a subi une diminution progressive pendant les 2 premiers mois puis une nette diminution à compter du 2<sup>ème</sup> mois ; cette diminution est due à la libération des acides gras des stabilisants thermiques contenant dans les différentes formulations et /ou à la libération

d'HCl provenant du PVC. Nous remarquons une diminution du pH très importante pour le sol contenant la formulation DINA +HTE par rapport aux autres formulations et cela peut être expliqué par l'activité bactérienne quand il s'agit d'utiliser des substrats carbonés.



**Figure 15 :** Evolution du pH en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol.

### 1.1.5. L'évolution de la biomasse bactérienne



**Figure 16 :** Evolution de la concentration bactérienne en fonction du temps d'enfouissement du PVC plastifié dans le sol.

La figure 16 montre une légère augmentation dans la croissance bactérienne dès les deux premiers mois d'enfouissement dans les sols enrichis par les deux formulations (DOP+HTE et DOP+HSE) qui atteint qui s'explique par la phase d'adaptation des bactéries autochtones à la structure du substrat (PVC+ additifs) pour la préparation des enzymes nécessaires à la dégradation (LRPENT et GORGAUD, 1970). En revanche, nous avons constaté une croissance bactérienne importante pour la formulation contenant DINA et l'HTE durant la phase exponentielle ; cela peut être due à l'accès facile des microorganismes pour la biodégradation du plastifiant DINA ( di-isononyle adipate ) qui possède une structure linéaire par rapport aux plastifiant DOP qui contient un noyau aromatique qui est résistants à la biodégradation voir minéralisation (LARDJANE et *al.*, 2013). A partir du deuxième mois d'enfouissement, nous remarquons une augmentation considérable de la biomasse bactérienne qui peut être expliquée par l'augmentation de la température correspondant au mois de mai durant la période d'essai ce qui favorise le développement des microorganismes dans le sol (TEXIER, 2008). Nos résultats sont conformes à ceux trouvés par GARCIA (2001) qui a prouvé que les bactéries utilisent les additifs du PVC comme source d'énergie.

## Conclusion

---

Cette étude est une recherche bibliographique complète sur les plastiques, particulièrement les PVC, leur dégradation microbiologique et biochimique et leurs impacts sur l'environnement. Il s'avère que le plastique est composé de plusieurs monomères qui produisent à leur tour des polymères, qui sont les éléments constitutifs des plastiques, exemples : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

Le plastique a un énorme impact sur l'environnement, à la fois esthétiquement et visuellement notamment les grandes décharges et les déchets déversés dans tout l'environnement. Il a également un impact sur la santé humaine en raison des molécules cancérigènes libérées des matières plastiques en dégradation. Ces molécules, passent dans la chaîne alimentaire en particulier dans les milieux aquatiques et les océans. D'autres impacts sont également observés sur de nombreuses plantes et animaux provoquant parfois leur mort en raison de la persistance et de l'accumulation de matières plastiques dans leur environnement.

Les plastiques se dégradent plus lentement lorsqu'ils sont exposés à de basses températures. Leur colonisation par des micro-organismes qui forment une couche protectrice retarde également leur dégradation. En outre, à ces facteurs externes qui ralentissent le processus de biodégradation, peuvent s'ajouter des facteurs internes, comme la nature des additifs chimiques présents dans les plastiques pour leur donner certaines propriétés, telles que la souplesse, l'opacité la résistance.

Concernant les perspectives à ce travail on pourra suggérer :

- Valoriser les déchets plastiques par une production d'énergies utilisable dans divers domaines.
- Isoler les enzymes des microorganismes tels que certains champignons lignocellulosiques, des bactéries capables de dégrader le plastique.
- Effectuer la sélection des microorganismes et champignons responsables de la biodégradation des additifs rentrant dans les différentes formulations.

# **Références bibliographique**

**ADDOU A., 2009** Traitement des déchets : valorisation, élimination, éd. Ellipses. 56p.

**ALLIGNER, CAVA, JPHNSON, DE JONGA , LE BEL, STEVENS., 1984** : Chimie organique (application). Edition Mc GRAW-HILL V3.977p.

**ANONYME 2000.** Problèmes environnementaux du PVC .Livre vert. Commission des communautés européennes. Bruxelles. 43p.

**ANONYME 1998.** Thecnical Leaflet, <<Plastomal DINA <<, M 5913 Tunisie.

**ANONYME, 2002** : FICHE TECHNIQUE, << Shintech PVC resin grade SE1200>>, USA 2002.

**ANONYME, 2003** : FICHE TECHNIQUE, << Plastimed DOP>>, Tunisie (2003).

**ANONYME, 2003** : THECHNICAL LEAFLET, << Plastomoll DINA>>, M 5913 Tunisie (1988).

**ANONYME, 2006** : Différents types de matières plastique, voyage en industrie.

**ANONYME, 2012** : le plastique dans notre vie, les plastiques en débat. Collège le Monteil. 16p.

**ATTENBERGER, P., KUFNER, T., MIEDEN, O., WINTER.A., 2014.** Polvinyl Chloride (PVC).Kunststoffe International, 16-20.

**AUSSEUR D., 2002** : Polychlorure de vinyle. Technique de l'ingénieur. AM 3325.1-14pp.

**BAUDET. A., 2003** : voyages au cœur de la matière plastique : les microstructures des polymères. Edit CNRS, Paris.196p.

**BEETZ A., KUSTUDIA M., 2004** Mushrooms cultivation and marketing. Horticulture production guide (www.attra.ncat.org).

**BERGE A., 2012.** Identification des sources d'alkyle phénole et de phtalates en milieu urbain. Thèse doctorat Université Paris-Est. 294p.

**BLIEFRT C., PERRAUD R., 2004** : « chimie de l'environnement air, sol, eau, déchets » Edit De Boeck, 477p.

**BONDOUX M., 2003.** Colorants et pigments. Technique de l'ingénieur. AM 3234.1-2pp.

**BONNARD N., TBORONDEAU M., JARGOT M., FALY D. et SCHNEIDER O., 2007.** Chlorure de vinyle. Fiche toxicologique FT184 pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Paris. 1-8p.

**BOUTAMINE M et RAHAL A., 2013.** Etude mécanique thermique et Economique de quelque Mélange à base de PVC Proposé par l'ENICAB de Biskra. Mémoire de Master Université mohamed Khider. Biskra.

**CAAMPS F., 2004 :** Réglementation des plastiques au contact de l'eau et des aliments. Techniques de l'ingénieur. F 1300. 1-7pp.

**CALMON-DECRIAUD A., BALLON-MAUREL V., SILVESTRE F., 1998.** Standard methods for testing the aerobic biodegradation of polymeric materials. Review and perspectives, *Advances in polymer science*. Vol. 135 : 207-226.

**CANTOR, K. et WATTS, P., 2011.** *Plastics Materials*. Inkutz, M., *Applied Plastics Engineering Handbook : processing and Material Oxford, Elsevier (Collection PDL Handbook Series)* (chap.1, 3-5p).

**CAP SCIENCE., 2006.** Différent type de plastique. Consulté le mars 18, 2013, sur cap sciences : [www.cap-sciences.net](http://www.cap-sciences.net).

**CARREGA M. et COLL., 2007.** *Matériaux Polymères*. Edit 2, DUNOD, Paris. 641p.

**CARREGA M., VENCENT V et COLL., 2012.** *Matières plastique, propriétés, mise en forme et application industrielles des matériaux polymères*. Edit 3. DUNOD, Paris. 664p.

**DEOUX S., 1993.** « L'écologie c'est la santé », éd. Frison-Roche, Paris, 539.

**DUMONT et FIRNINAND LEMARECHAL., 1996 :** *Description matérielle* Edition Paris : chiron, 158p.

**DUSSUD, C., and GHIGLIONS, J.F., 2014.** « Bacterial degradation of synthetis plastics, » in *Marine litter in the Mediterranean and Black Seas*, ed. F. Briand CCIESM Publisher, 180.

**DUVAL C., 2004.** *Matières plastiques*. Edit DUNOD, Paris.310p.

**DUVAL, C., 2009 :** *Matières plastiques et environnement* 2<sup>eme</sup> éd : Recyclage, Biodégradabilité, Valorisation (Dunod) 3238.

**FARHI R., MORCEL C. et CHERON G., 2006.** *Matières plastiques et adjuvants hygiène et sécurité*. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Centre d'étude des matières plastiques. Edit Paris. 546p.

**FEUILLOLY P., 1999.** Un label européen de biodégradabilité, *Biofutur n° 193* : 19-21.

**FONTANILLE. M et GNANOU. Y., 2010 :** *Chimie et physico chimie des polymères*. Edit 2, DUNOD, Paris. 546p.

**GAUJOUS.D., 1995.** *La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire*. Edit. TEC & DOC, Paris, 220p.

**HADDAR A., 2009.** L'effet du nombre de recyclage du PVC sur les propriétés polyéthylène réticulé par Silane (PRS). Université de Mohamed Khider Biskra.

**HRUSKA Z., GUESNET P., SALIN C. et COUCHOUD J-J., 2007.** Poly (chlorure de vinyle) ou PVC. Techniques de l'ingénieur. AM 3325, 1-13pp.

**HRUSKA.V., GUESNET.P et COUCHOUD.J.J., 2002.** Poly (chlorure de vinyle) ou PVC. Techniques de l'ingénieur, AM 3325, 2 : pp 1-13.

**HUGENHOLTZ, P., HOOPER, S.D., and KYRPIDES, N.C., 2009.** Focus : Synergistetes. Environ. Microbiol. 11,1327-1329 doi : 10.1111/j.1462-2920.2009.01949.x.

**ISHIGAKI, T., SUGANO, W., NAKANISHI, A., TATEDA, M., IKE, M., and FUJITA, M., 2004.** The degradability of biodegradable plastics in aerobic and anaerobic waste landfill model reactors. Chemosphere 54, 225-233.doi : 10.1016/S0045-6535(03)00750-1.

**IUPAC., 1997.** « biopolymers », compendium of chemical terminology « Gold Book » version corrigés en ligne (2006) 2<sup>ème</sup> éd, 465p.

**JACOBS.M.A., AMIN.E.S et FISHER.N.O., 2007.** <<Persistence of vinyl chloride in groundwater at the Woodlawn landfill Superfund site, northeastern Maryland, USA<<, Environ. Geol , 52 : pp1253-1260.

**JACQUIN J, CHENG J, ODOBLEC ,2019.** Microbial Ecotoxicology of Marine Plastic Debris : A Review on Clonization and Biodegradation by the « Plastisphere ». Front Microbiol 10.

**JAY et CHANTAL., 2014.** Vivre sans plastique, Green & vert, environnement, santé. Canada.

**KONIG C., 2011.** Le plomb, le métal, la chimie et la production. Le dossier- métal, futura science. 1-13p.

**KRUGER, M.C., HARMS, H., and SCHLOSSER, D., 2015.** Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics.

**LANDOLSI M., 2017 ;** Classification des polymères, plastiques et polymères, Concep TEC. Net.

**LARDJANE.N, BELHANECHÉ-BENSEMRA.N, MASSARDIER.V,** <<soil burial degradation of New-Bio Based additives. Par II plasticized poly (vinyl chloride films >>, journal of Vinyl & additives Technology, v: 19,183-191 P (2013).

**LARPENT J P ET LARPENT-GOURGAUD M,** 1970. Microbiologie pratique. Paris, Hermann

**LEAHY.J.G AND COLWELL.R.R,** <<Microbial degradation of hydrocarbons in the environment>>, Microbiological Reviews 54, 305-315 (1990).

**LEBRETON L CM, GREER SD, BORRERO JC., 2012.** Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. Mar.Pollut.Bull 64(3) :653-661.

**LOWER, S., 2009.** Polymer and plastics an Introduction. In Chemi Virtual Textbook. States of Matter.<http://www.chemi.com/acad/wzbttext/states/polymers.html>.

**M.T. BENANIBA, N. BELHANECHÉ, BENSEMRA, G. GELBARD**, << Stabilizing effect of epoxydized sunflower oil on the thermal degradation of poly (vinyl chloride) >>, Polym. Degr. & Stab, 74 : pp 501-505 (2001).

**MARCILA, S. GARCIA, J. C. GARCIA, QUESADA**, << Study of the migration of PVC Plasticizers >>, J. Anal. Appl. Pyro, 71: pp 457-463 (2004).

**MÜLLER R. J., AUGUSTA J., WALTER T., WIDDIKE H., 1994.** The development and modification of some special test methods and the progress in standardisation of test methods in Germany. In : Doiy and Fukuda, K.(eds) Biodegradable plastics and polymers. Elsevier New-York, p.237-249.

**OLIVIER, M., 2013.** Notions des base sur les matières plastiques 72-80p.

**OUANOUGHI S., 2004.** Possibilité d'élimination du Cadmium par précipitation chimique à la chaux et au sulfate d'aluminium. Master thèse. Université de Mohamed khider Biskra.

**PARKMAN. H et REMBERGER. M., 1995.** Phtalates in Swedish sediments, Stockholm, Swedish Environmental Research Institute , p23.

**PEZERAT H., 2008.** Risque CMR dans les établissements fabricant des produits finis en PVC : première analyse. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 1-30pp.

**PLASTICS EUROPE, E., 2013.** Plastics- the Facts 2013. A n analysis of European latest plastics production, demend and waste data.

**POHLAND. F., 1991.** Fondamental principale, managementstrategies for landfill codisposalpractices. In : Christensen TH, Cossu R, Stegman R, editors. Third International Landfill. Sym, Imo, Gra. Gal, 2 : pp1145-60.

**REYNE, M., 1998.** Les plastiques. Paris, PUF. 125p.

**RITSEMA. R., COFINO.W., FRINTROP.P., BRINKMAN.U., 1989.** Trace level analysis of phtalate esters in surface water and suspended particular matterby means of GC-ECD and GC- MSD. Chemosphere, 18 : pp2161-2175.

**ROBERT-NADEAU F., 2012.** Evolution des risques toxicologiques et éco toxicologiques d'un terrain contaminé par des métaux. Grade maitre en environnement. Université de Sherbrooke. Quebec. 68p.

**SANCHEZ C., 2004.** Modern aspect of mushrooms culture technology. Appl Microbiol Biotechnol 64 : 756-762.

**SAURET, C., TEDETTI, M., GUIGUE, C., DUMAS, C., LAMI, R., PUJO-PAY, M., et al., 2016.** Influence of PAHs among other coastal environmental variables on total and PAH-

degrading bacterial communities. Environ. Sci. Pollut. Res. 23,4242-4256.doi : 10.1007/s11356-015-4768-0.

**SHASHOUA.R., 2004 :** « Corps de Barbie obtient collant pendant que le phtalatedibutylique émigre ». Département de conservation, le musée national du Danemark.

**SMITHERS.R., 2011.** Reach for Polymers, meilleures méthodes d'essai et techniques disponibles. Projet N° :LIFE08 ENV /UK/000205, Document 1 : les polymers, REACH for Polymers, Live sur Google Play 203p.

**TEXIER S.** 2008. Dispersion et survie des populations de bactéries fécales bovines dans le sol des écosystèmes pâturés subalpins : conséquences sur le transfert bactérien dans les bassins versants, thèse de doctorat. L'université de Savoie. Paris.

**THOMASSIN J-F., TOUZE S., BARANGER PH. Et FEYSSINE T., 2003.** Le mercure et ses composés comportement dans le sol, eau et les boues de sédiment. 121p.

**VERT M., FEIJEN J., ALBERTSSON A., SCOTT G., CHIPELLINIE E., 1992.** Biodegradable Polymers and Plastics, the Royal Society of Chemistry, Cambridge 250-268p.

**VIALA. A et BOTTA, A., 2005 :** Toxicologie 2<sup>ème</sup> édition. Lavoisier, pour la voie d'exposition, Paris, 1122p.

**WRIGHT SL, THOMPSON RC, GALLOWAY TS., 2013.** The physical impacts of micro-plastics on marine organisms: a review. Environ Pollut.178 : 483-492.

## **Résumé**

Le présent travail porte sur l'étude de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC). Pour cela, deux plastifiants ont été considérés : le di-octyle phtalate (DOP) et le di-isononyl adipate (DINA). L'huile de tournesol époxydée (HTE) a été utilisée comme stabilisant thermique, l'huile de soja époxydée (HSE) a été utilisée à titre de comparaison. Un essai d'enfouissement dans le sol a été réalisé pendant trois mois, le dernier prélèvement après six mois d'enfouissement. L'évolution de la variation de masse, de l'humidité et de pH a été étudiée en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.

Les résultats ont montré que la nature du plastifiant et du stabilisant thermique influent sur les phénomènes de la biodégradation et migration.

**Mots clés :** PVC, Biodégradation, DINA, DOP et plastifiant.

## **Abstract**

This work focusses on the study of new formulations based on polyvinyl chloride (PVC). For this, two plasticized were considered di-octyl phtalate (DOP) and di-isononyl adipate (DINA). Epoxidized sunflower oil (HTE) was used as heat stabilizer, epoxidized soybean oil (HSE) was used for comparison. A burial test in the ground was carried out for three months, the last sampling after six months of burial. The evolution of the variation of mass, humidity and pH was studied according to the time of burial in the ground.

The results showed that the nature of the plasticizer and the thermal stabilizer influence the phenomena of biodegradation and migration.

**Keywords :** PVC, Biodegradation, DINA, DOP and plasticizer.