

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUE ET DES SCIENCES AGRONOMIQUE
DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master



Département: Biologie

Spécialité : Biodiversité écologie végétale.

Thème

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

Réalisé par : KAHLOUCHE Kahina ; KIOUS Dahia

Soutenu le, 10/07/2019

Devant le Jury :

Mme CHAOUCHI. N

Maitre de conférences

Présidente

M^{me} LARDJANE.N

Maitre de conférences A

Promotrice

M^{elle} SAYAH. F

Doctorante

Co –promotrice

Mme BENOUFELLA-KITOUS. K

Maitre de conférences A

Examinatrice

Mr HAMITOUCHE. F

Doctorant

Examineur

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Toute notre gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous remercions vivement notre Promotrice M^{eme} Lardjan.N de nous avoir encadré ainsi que pour ses orientations et ses précieux conseils et de nous avoir guidé tout le long de ce travail.

Nous remercions notre Co-Promotrice M^{eme} Sayeh.F.

Nous remercions M^{eme} Chaouchi.N qui a fait l'honneur d'être la présidente de notre jury.

Nous remercions également M^{eme} Benoufella-Kitous.K et M^r hamitouche.F qui ont acceptés d'évaluer et examiner notre travail.

Nous remercions aussi M^r BOUDINAR Salem MCA laboratoire de physique et chimie pour le MEB et M^{elle} TOUATI ingénieure de laboratoire de chimie IR.

Nous adressons nos remerciements à tous mes enseignants et les ingénieurs des laboratoires pédagogique de Microbiologie, de Pédologie, de Physico-chimique I et II, pour leurs soutiens, et d'avoir mis a notre disposition le matériel nécessaires particulièrement pour leurs conseils et leur gentillesse tout au long de nos études.

Enfin, on souhaite à remercier toutes personnes qui ont contribuées de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

DEDICACE

Au nom d'Allah le tout miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont beaucoup aidé et encouragé durant toutes mes études. Les familles KIOUS et HADOU.

- ❖ Toutes mes sœurs, Ouardia et Yasmine avec son MARI , et mon frère Koussaila.*
- ❖ A tous mes amis et mes proches.*
- ❖ A tous ceux que j'aime et je respect.*
- ❖ A tous le groupe de ma section.*
- ❖ A ma binôme Kahina et sa famille Kahlouche.*
- ❖ A tous les enseignants de ma spécialité et à mon encadreur et Co-promoteur.*

DAHIA

Dédicaces

*Grace à Allah ce modeste travail est achevé, que je dédie
sincèrement :*

A ma douce maman, source de tendresse et d'amour ;

Mon très cher papa qui à été toujours là pour moi ;

Pour leur soutien et sacrifices.

*A mon meilleur frère Salah que j'ai trouvé toujours à mes
cotés ;*

*A mes chères sœurs. Zahia ; Malika ; Nouara ; Amel
et leurs maris sans oublier leurs anges : Gaya ; Lyna ; Sarah ;
Aylan ; Arezki et Melina ;*

Pour leurs encouragements.

A toutes les familles Kahlouche et Kaddour .

*A mes meilleurs copines Lydia et Hanane et tous mes
amis (es).*

A ma binôme Dahia et sa famille Kiouss.

A toute la promotion de Master BEV et mes enseignants.

*A tous les musulmans dans le monde entier et qu'Allah les
soutiens des frères à jamais.*

Merci au fond du cœur pour votre aide et soutien.

Kahina

PE : polyéthylène.

PP : polypropylène.

PVC : polychlorure de vinyle.

PS : polystyrène.

UV : ultra violet.

PET : polyéthylène téréphtalate.

PEHD : polyéthylène de haute densité.

PELD : polyéthylène de faible densité.

PC : polycarbonate.

CVM : monomère de chlorure de vinyle.

DEHP : di-ethylhexyl phtalates.

BBzP : butyl benzyl phtalates.

COV : Composé Organique Volatil.

PUR : Polyuréthanes.

BTEX : benzène , toluène, éthylbenzène, xylène.

Ech : échantillon

MO : matière organique.

GN : gélose nutritive.

SM : solution mère.

MO : microorganisme

DIDA: di-iso decyle adipate.

DINA: di- iso nonyle adipate.

DOP : di-octyle phtalate

Figure 1 : Formule chimique de polymérisation de l'éthylène.	3
Figure 2 : Structure d'un polymère linéaire.....	4
Figure 3 : Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel : le carbone graphite.....	5
Figure 4 : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel.....	5
Figure 5 : Polymère thermoplastique.....	6
Figure 6 : Polymère thermodurcissable.....	7
Figure 7 : Formule chimique du pvc.....	9
Figure 8 : Fabrication de la résine de PVC.....	10
Figure 9 : Sol pollué à proximité d'une décharge (ex-habitat).	21
Figure 10 : Vue aérienne de la résidence universitaire Ex-Habitat (Google Maps, 2019).	24
Figure 11 : Localisation géographique de la R.U. Ex-Habitat (Google Maps, 2019). ...	25
Figure 12 : le diagramme ombrothémique de la commune de Tizi-Ouzou.....	28
Figure 13 : formules chimiques des plastifiants.....	32
Figure 14 : Représentation des trois parcelles d'enfouissement au niveau d'Ex-Habitat.	34
Figure 15 : Illustration de l'essai d'enfouissement.....	35
Figure 16 : Représentation des matériels utilisés dans l'analyse granulométrique.....	37
Figure 17 : Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	41
Figure 18 : MEB ESEM XL 30 Philips à filament de tungstène.	42
Figure 19 : Suivi de l'Humidité en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.....	43
Figure 20 : Suivi du pH en fonction du temps d'enfouissement de PVC plastifié dans le sol.....	44
Figure 21 : Taux de la matière organique en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.....	45
Figure 22 : Diminution des variations de masse en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.....	47
Figure 23 : Aspect macroscopique (a) (virage de la couleur jaune vers le rouge) et microscopique (b) (après coloration de gram de la souche1 au grossissement GR×100)...	50
Figure 24 : Aspect macroscopique (a) microscopique (b) (après coloration de Gram de la souche 2 au grossissement GR×100).....	51
Figure 25 : Aspect macroscopique (a) microscopique (b) (après coloration de Gram de la souche 3 au grossissement GR×100).....	51

Figure 26 : Spectre infrarouge du polychlorure de vinyle PVC.....	51
Figure 27 : Spectre infrarouge du stabilisant thermique stéarate de zinc.....	52
Figure 28 : Spectre infrarouge du stéarate de calcium.....	53
Figure 29 : Spectre infrarouge de l'acide stéarique.....	54
Figure 30 : Spectre infrarouge de l'huile de tournesol époxydée (HTE).....	55
Figure 31 : Spectre infrarouge de di- octyle phtalate (DOP).....	56
Figure 32 : Spectre infrarouge de di- iso nonyle adipate (DINA).....	57
Figure 33 : Spectre infrarouge de di- iso nonyle adipate (DIDA).....	58
Figure 34 : Spectre infrarouge des formulations contenant le DIDA et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	61
Figure 35 : Spectres infra rouges des formulations contenant le DINA et l' HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	62
Figure 36 : Spectres infra rouges des formulations contenant le DOP et l' HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	63
Figure 37 : : Images MEB des échantillons de PVC contenant le DIDA et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	64
Figure 38 : Images MEB des échantillons de PVC contenant le DINA et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	65
Figure 39 : Images MEB des échantillons de PVC contenant le DOP et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.....	66

Tableau 1 : Données thermique de la commune de Tizi-Ouzou.....	26
Tableau 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou.....	27
Tableau 3 : Régime saisonnier des précipitations.....	27
Tableau 4 : Caractéristiques de la résine de PVC.....	29
Tableau 5 : Caractéristiques du plastifiant di-iso nonyle adipate (DINA).....	30
Tableau 6 : Caractéristiques du plastifiant di-iso decyle adipate (DIDA).....	30
Tableau 7 : Caractéristiques du plastifiant di-octyephate (DOP).....	31
Tableau 8 : Stabilisants thermiques et le lubrifiant utilisés.....	31
Tableau 9 : Produits chimiques et milieux de culture.....	33
Tableau 10 : Normes d’appréciation de la matière organique de sol.....	45
Tableau 11 : Evaluation des classes texturale du sol.....	46
Tableau 12 : Caractères macroscopiques des colonies bactériennes.....	48
Tableau 13 : Résultats des observations microscopiques des colonies bactériennes étudiées.....	49
Tableau 14 : Groupements fonctionnels caractéristiques du PVC seul.....	52
Tableau 15 : Groupements fonctionnels caractéristiques du stéarate de zinc.....	53
Tableau 16 : Groupements fonctionnels caractéristiques du stéarate de calcium.....	54
Tableau 17 : Groupements fonctionnels caractéristiques de l’acide stéarique.....	55
Tableau 18 : Groupements fonctionnels caractéristiques de l’huile de tournesol époxydée utilisée.....	56
Tableau 19 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- octyle phtalate (DOP)...	57
Tableau 20 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- iso nonyle adipate (DINA).....	58
Tableau 21 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- iso nonyleadipate (DIDA).....	59
Tableau 22 : Bandes caractéristiques des additifs présents dans les films du PVC.....	59
Tableau 23 : Variation des rapports d’absorbances en fonction du temps d’enfouissement du PVC plastifié dans le sol.....	60

SOMMAIRE

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
I- Généralités sur les plastiques.....	03
1- Définition de la matière plastique	03
2- Les polymères	03
2-1 Définition d'un monomère	03
2-2 Définition du polymère	03
3- Classification des polymères	04
3-1 Selon leur origine	04
a- Polymères naturels	04
b- Polymères artificiels	04
c- Polymères synthétiques	04
3- 2 Selon leur structure	04
a- Polymères linéaires (ou monodimensionnels)	04
b- Polymères bidimensionnels	04
c- Polymères tridimensionnels	05
3- 3 Selon leur nature chimique	05
a- Polymères minéraux	05
b- Polymères organiques.....	06
c- Polymères mixtes.....	06
4- Types de polymères	06
4-1 Les thermoplastiques	06
4-2 Les thermodurcissables	06
4-3 Les élastomères	07
5- Applications des matières plastiques	07
5-1 Emballage	07
5-2 La construction	08
5-3 Automobile.....	08
5-4 Loisir et Sport	08
5-5 Agriculture.....	08

SOMMAIRE

II- Le polychlorure de vinyle (PVC)	08
1-Définition	08
2- Production et obtention de polychlorure de vinyle (PVC)	09
2-1 Synthèse du monomère	10
2-2 Polymérisation	10
3- L'utilisation d'additifs dans le PVC	11
3-1 Gamme et types d'additifs	11
3-2 Stabilisants et antioxydants	11
3-3 Plastifiants	12
3-4 Charges et renforts	12
3-5 Solvants ou pigments	13
3-6 Lubrifiants	13
3-7 Fongicides	13
3-8 Antistatiques	14
4- Les techniques de transformation en produits finis	14
4-1 L'extrusion	14
4-2 L'extrusion soufflage	14
4-3 L'injection	14
4-4 Le calandrage	14
4-5 Le thermoformage	15
4-6 L'enduction	15
4-7 La fluidisation	15
III-Impacts du polychlorure de vinyle (PVC)	15
1-Impacts sur la santé	15
1-1 Interaction contenant/contenu	16
2-Impacts sur l'environnement	17
2-1 Impact sur l'air	17
2- 2 Impact sur l'eau	17
2-3 Impact sur le sol	18
IV-Généralité sur le sol	18
1- Introduction	18
2- Définition du sol	18
3- Composition du sol	19
4- Les propriétés du sol	19

SOMMAIRE

5- Définition d'un sol pollué	20
6- Substances polluantes et sources de pollution.....	20
6-1 Substances polluantes présentes dans sol	20
6-2 Sources de contamination	20
V-Perspectives.....	21
1- Recyclage du PVC et leurs valorisations	21
2- Les deux phases de recyclages des déchets plastiques	22
3- Avantages de recyclage du PVC	23

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

I-Présentation du site d'enfouissement	24
II-Matériels.....	29
1-Polychlorure de vinyle (PVC).....	29
1-1 Les produits utilisés	29
a- La résine du PVC	29
b- Les plastifiants	29
c- Les stabilisants thermiques et le lubrifiant	31
1-2 Formulations réalisées	33
2-Le sol.....	33
2-1 Produits chimiques et milieux de culture	33
2-2 Etude du comportement des formulations dans le sol	33
3- Analyse du sol	35
3-1 L'humidité (l'hygrométrie).....	35
3-2 Détermination du potentiel d'Hydrogène	36
3-3 Evaluation de la teneur en matière organique (MO) par perte au feu (méthode par déshydratation puis calcination).....	36
3-4 Analyse granulométrique	37
3-5 Suivi de variation de masse des éprouvettes	37
3-6 Paramètres bactériologiques	38
a) Dénombrement des bactéries.....	38
b) Identification des souches	39
4-Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB).....	40
5- L'analyse par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)	41

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I-Caractéristiques du sol utilisé	43
---	----

SOMMAIRE

1-Suivi de l'humidité	43
2-L'évolution du pH.....	44
3-L'évolution de la matière organique	45
4- Résultats de l'analyse granulométrique	46
5-Suivi de variation de masse.....	46
6- Analyse des paramètres bactériologiques	47
6-1 Dénombrement des bactéries	47
6-2 Identification des souches	48
II-Characterisation Préliminaire du PVC et des additifs par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier	51
1-Le polychlorure de vinyle (PVC).....	51
III-Analyse par spectroscopie infrarouge a transformée de Fourie (IRTF).....	59
IV- Analyse par la microscopie électronique à balayage (MEB).....	64
Conclusion.....	67

Références bibliographiques

Nous estimons que 8300 millions de tonnes métrique de plastiques vierges ont été produites à ce jour (2017).

En 2015, 6300 millions de tonnes de déchets plastiques avaient été générés, dont 19% avaient été recyclés, 12% incinérés et 79% étaient accumulés dans des décharges ou dans l'environnement naturel (Geyer et al 2017).

Les matières plastiques sont très utilisées dans divers domaines de notre vie, spécialement le domaine agricole et celui de l'emballage (Briassoulis et al ,2013).

Actuellement, dans l'industrie des stabilisants, la tendance est de remplacer les stabilisants à base des métaux lourds (Pb et Cd) et de développer de nouveaux produits « verts » non toxique et plus respectueux de l'environnement (Belhanache, Bensemra, 2006).

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 ; ceci est dû à l'ensemble de ces propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié (Ausseur, 2002).

Le PVC pur est un matériau rigide qui résiste relativement bien aux intempéries, à l'eau et aux produits chimiques (Ausseur 2002). Il est électriquement isolant mais assez instable à la chaleur et à la lumière qui entraînent une perte de chlore sous la forme de chlorure d'hydrogène (HCl) (Bost , 1996) pour cela cette résine de PVC n'est jamais utilisée telle quelle, elle est mélangée aux différents additifs. Ces derniers sont également responsables de la grande variété qui existe entre les différents produits en PVC au niveau de leurs propriétés (mécanique, chimique et thermique, ..), (Dominkovics, 2007).

Ces additifs, qui sont ajoutés, selon les cas, sont les stabilisants, les plastifiants, les charges et agents renforçant, les lubrifiants, les colorants et pigments. Dans cette étude, l'accent est mis sur les stabilisants thermiques et les plastifiants. Ces derniers sont incorporés au polymère dans le but de faciliter la mise en œuvre, de modifier les propriétés de la résine et de développer de nouvelles propriétés absentes dans le cas de la résine elle-même. L'additif critiqué à cause de leurs effets toxiques il s'agit des plastifiants phtalate.

La liste des plastifiants du PVC, connus à ce jour, est importante. Les plus utilisés sont actuellement les esters issus de la chimie du pétrole, comme les adipates, les phosphates, et plus particulièrement les phtalates, tels que le di-octyle phtalate (DOP), les adipates tels que le di-iso nonyl adipate (DINA) et di-iso decyle adipate (DIDA) (Ghettas, 2013).

L'inconvénient des matériaux polymères réside dans le fait qu'ils ne sont pas biodégradables et pose ainsi le problème de la gestion de leurs déchets industriels ou de consommation qui s'accumulent de manière inquiétante. La plupart des composés à base de plomb, y compris ceux qui sont utilisés dans le PVC, sont classés comme toxique et nocifs pour les êtres vivants et dangereux pour l'environnement (Anonyme, 2002). Les nouvelles recherches scientifiques visent à rechercher et améliorer ces stabilisants toxiques (plomb) par des nouvelles formulations biodégradables dans le but de la préservation de l'environnement. Les plastifiants (phtalate) qui sont utilisés en grandes quantités dans la composition, s'accumulent dans les organismes humains et peuvent provoquer des perturbations néfastes pour la santé.

L'objectif de ce travail est de proposer une nouvelle démarche qui s'articule sur l'utilisation des nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC) pour la préservation de l'environnement. Pour cela, deux plastifiants ont été utilisés : le di-iso nonyl adipate (DINA) et di-iso decyle adipate (DIDA), l'huile de tournesol a été utilisée comme stabilisant thermique.

Dans le cadre de notre étude un enfouissement de trois formulations du PVC a été réalisé dans le sol au niveau de l'Ex-Habitat (Tizi-Ouzou), pendant une durée de deux mois et demi. Des prélèvements des éprouvettes du PVC ont été effectués et pesés chaque 15 jours et des échantillons du sol sont extraits avant et après l'enfouissement pour l'étude des paramètres physico-chimiques matière organique, l'humidité, pH et la granulométrie et les paramètres bactériologiques.

Les modifications morphologiques ont été suivies par microscopie électronique à balayage (MEB). Les modifications structurales subies par le polymère au cours de l'essai ont été analysées par spectroscopies infra-rouge à transformée de Fourier.

- . En fin, pour approfondir ce présent travail nous suggérons :
- De faire une étude sur la toxicité du DINA et le DIDA en combinaison avec l'HTE,
- D'identifier les métabolites issus de la biodégradation des additifs étudiés,
- D'utiliser d'autres techniques analytiques telles que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CGMS).

Plusieurs travaux d'études ont été déjà réalisés sur ce sujet. Parmi ces derniers nous pouvons citer Mahrouf et Khatir 2018, Adjoudj et Mohammedi 2017, Lardjan 2013,2011,2010 , Bounar et Larbi 2010.

I- Généralités sur les plastiques

1- Définition de la matière plastique

Les matières plastiques sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomères. Elles sont produites par transformation de substances naturelles, ou par synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales.

Dire d'une matière qu'elle est plastique cela signifie qu'elle peut être moulée ou modelée à volonté dans des formes déterminées (Baudet, 2003).

2- Les polymères

2-1 Définition d'un monomère

Les monomères sont de petites molécules qui forment les polymères en se regroupant. Un monomère est une molécule de petite taille et faible masse moléculaire, qui en tant qu'unité, se lie chimiquement à d'autres molécules organiques pour former un polymère supra moléculaire. Elles sont constituées essentiellement de Carbone (C), d'Hydrogène (H), l'Oxygène (O₂) et l'Azote sont en faible proportions (Anonyme, 2012).

Un monomère s'attache à d'autres monomères, par des liaisons chimiques, généralement covalentes, formant des macromolécules appelées polymère (Fig.1).

2-2 Définition du polymère

Les polymères sont principalement constitués de macromolécules. Ils sont constitués de longues chaînes d'atomes assemblés par des liaisons covalentes, l'unité de base de ces chaînes est les monomères. La formation de ces longues chaînes est appelée polymérisation. Elle désigne une réaction chimique en fonction du temps et de la température.

On distingue : la cellulose, l'amidon, les protéines..., ils répondent à la notion de polymères par la structure et la taille de leurs molécules (Baudet, 2003) (Fig.1).

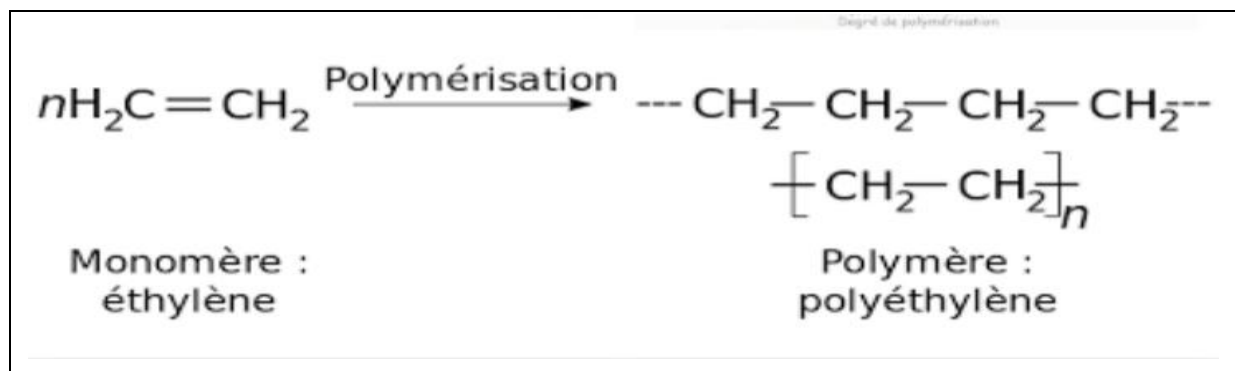


Figure 1: Formule chimique de polymérisation de l'éthylène (Anonyme, 2010).

3- Classification des polymères

3-1 Selon leur origine

a- Polymères naturels

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

b- Polymères artificiels

Les polymères artificiels sont obtenus par modification chimique de polymères naturels, de façon à transformer certaines de leurs propriétés ; l'ester cellulosique (nitrocellulose, acétate de cellulose...) (Fontanille et Gnanou, 2010).

c- Polymères synthétiques

Les polymères synthétiques sont issus de réactions dites de polymérisation, qui transforment des molécules simples appelées molécules monomères (ou monomères) en un assemblage covalent d'unités monomères ou polymères : polystyrène, polyisoprène synthétique, etc.... (Iupac, 1997).

3- 2 Selon leur structure

a- Polymères linéaires (ou monodimensionnels)

Les polymères linéaires sont constitués de chaîne macromoléculaire, d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères. De tels systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère (Smithers, 2011) (Fig.2).

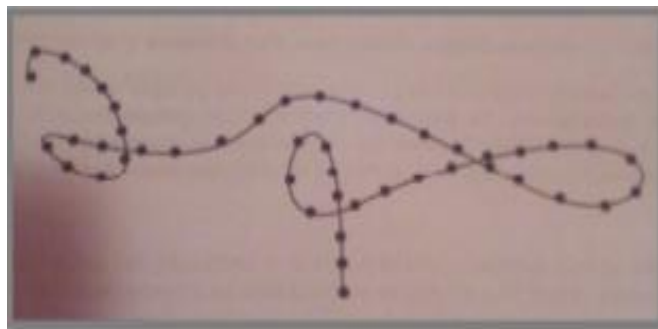


Figure 2 : Structure d'un polymère linéaire (Fontanille et Gnanou, 2010).

b- Polymères bidimensionnels

Les polymères bidimensionnels certains peuvent être produits par la nature (Carbone graphite, kératine...), Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples (Smithers, 2011) (Fig.3).

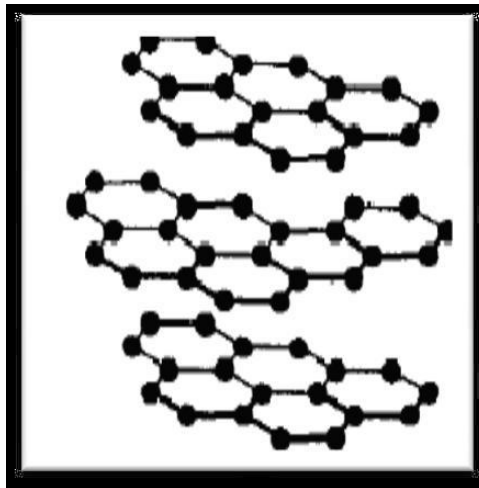


Figure 3 : Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel : le carbone graphite (Smithers, 2011).

c- Polymères tridimensionnels

Les polymères tridimensionnels résultent de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux ou encore de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique, de polymères linéaires. Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infini puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule. Les liaisons se développent dans les trois dimensions (Smithers, 2011) (Fig.4).

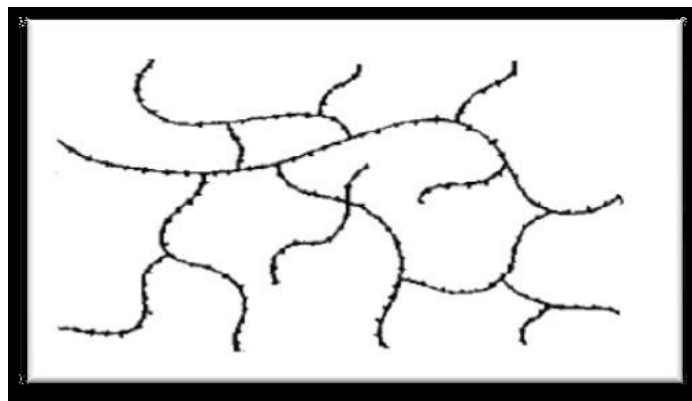


Figure 4 : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel (Smithers, 2011).

3- 3 Selon leur nature chimique

a- Polymères minéraux

Les polymères minéraux sont constitués soit de chaînes renfermant un seul corps simple (diamant, graphite, phosphore, soufre...) ou de chaînes renfermant plusieurs hétéroatomes (silicates acides polyphosphoriques, chlorure de polyphosphonitrile).

b- Polymères organiques

Les polymères organiques c'est la classe la plus riche, on désigne: les polydiènes, les polyacryliques, les polyamides et les polyvinyles.

c- Polymères mixtes

Doués de propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique (300°C-350°C) comme les silicones.

4- Types de polymères

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

4-1 Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont constitués de polymères linaires ou ramifiés. Ils « fondent » de manière réversible par simple chauffage (100-200°C). Cette propriété est utilisée pour leur mise en forme (Landolsi, 2017). Les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables. 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), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et polystyrène(PS) (Landolsi, 2017) (Fig.5).

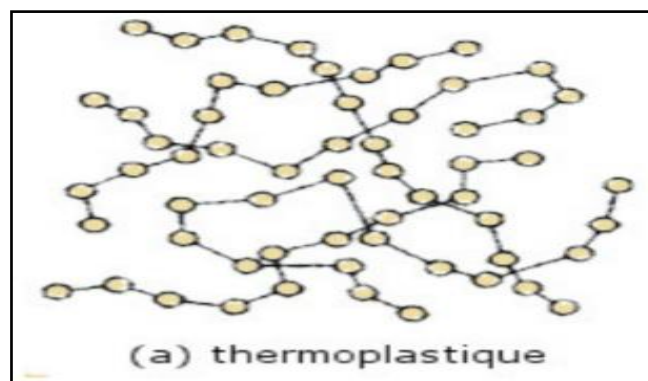


Figure 5 : Polymère thermoplastique (Landolsi, 2017).

4-2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont transformés sous l'impact conjugué de la température, la pression et les produits chimiques. Les macromolécules réticulent pendant la cuisson. Cet état de la matière est irréversible, et donc les thermodurcissables ne peuvent être fondus de nouveau après leur réticulation. Ils restent solides et rigides jusqu'à la température de décomposition. Cette famille comprend différents matériaux comme les compounds qui durcissent, les résines liquides ou de coulée et les semi-produits. Ils sont indissolubles et ne fusionnent pas (Smithers, 2011) (Fig.6).

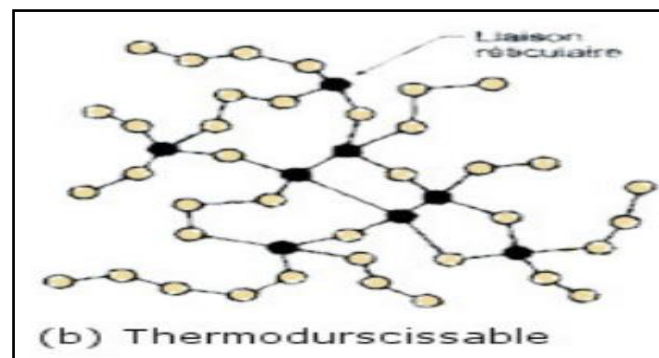


Figure 6 : Polymère thermodurcissable (Landolsi, 2017).

4-3 Les élastomères

Les élastomères est le terme générique désignant des polymères à hauts poids moléculaires et dotés de propriétés élastiques. Ils peuvent être d'origine naturelle (caoutchouc) ou synthétique, ils sont issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie). Ils peuvent subir une élongation qui peut atteindre plusieurs fois leur longueur initiale puis reprendre leur forme originelle. Des méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène,...) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques...) (Smithers, 2011).

5- Applications des matières plastiques

5-1 Emballage

C'est le plus grand marché pour les matières plastiques, sous forme de bouteilles, flacons, films souples et rigides, boîtes pour corps gras, boîtes pour pâtisseries etc. Dans ce secteur industriel de l'emballage, le PVC représente 5% du marché contre 85% du PET (polyéthylène

téréphtalate) et 10% pour le verre. Les principales matières plastiques utilisées dans ce marché sont : PE, PP, PVC, PS et PE.

5-2 La construction

C'est le deuxième secteur le plus important (réalisation et bâtiment). Les plastiques sont adaptés à ce secteur en raison de leurs propriétés : isolantes, production de masse.

Les principales applications sont les suivantes: pipes, isolation, revêtement mural et du sol et les châssis de fenêtre. La plupart des applications en PVC ont de longues durées de vie dans le bâtiment et les marchés de la construction. Pour ce secteur, le PVC est l'un des principaux matériaux.

5-3 Automobile

Il Ya de nombreux plastiques utilisés pour les pièces automobiles (13 polymères différents). Mais les trois principales familles sont : le PP (32%), le polyuréthane (17%) et le PVC (16%).

5-4 Loisir et Sport

L'utilisation du plastique dans le marché des loisirs et du sport a amélioré les performances athlétiques. De nombreuses propriétés des plastiques correspondent parfaitement au besoin de ce secteur, le premier de ces besoins étant la légèreté. Ce secteur utilise de nombreux plastiques techniques ou très techniques ainsi que des composites (fibres de verre ou de carbone).

5-5 Agriculture

Ce secteur utilise principalement des thermoplastiques standards tels que le PE et le PVC. Le principal mode de transformation est l'extrusion.

II- Le polychlorure de vinyle (PVC)

1-Définition

Le polychlorure de vinyle, connu sous le sigle PVC est un polymère synthétique (ou résine), qui est constitué par l'addition répétitive de chlorure de vinyle monomère, dont la formule est $\text{CH}_2\text{-CHCl}$ (Fig.7). C'est un polymère thermoplastique obtenu par polymérisation du monomère de chlorure de vinyle (CVM). Il se présente sous forme de poudre blanche (Carrega et Coll, 2007), à laquelle en fonction de son utilisation finale sont ajoutés différents adjuvants : lubrifiants, stabilisants, plastifiants, charges.... Il est préparé à partir de deux matières premières : à 57 % de sel de mer (NaCl) et à 43 % de pétrole ; c'est la seule matière plastique constituée par plus de 50 % de matière première

d'origine minérale (Dumont et *al.*, 1996). Le PVC est l'un des matériaux les plus versatiles qui soit. On peut en faire tout ce que l'on veut, selon les additifs et les traitements qui lui sont apportés, il peut être soit parfaitement rigide, soit souple. Il est résistant à l'eau, aux UV et au feu.

Le PVC rigide est surtout utilisé pour la fabrication de profilés et tubes par extrusion. Par contre le PVC souple (ou PVC plastifié) sert par exemple dans l'industrie des vêtements et des tapisseries (Allinger et *al.*, 1984).

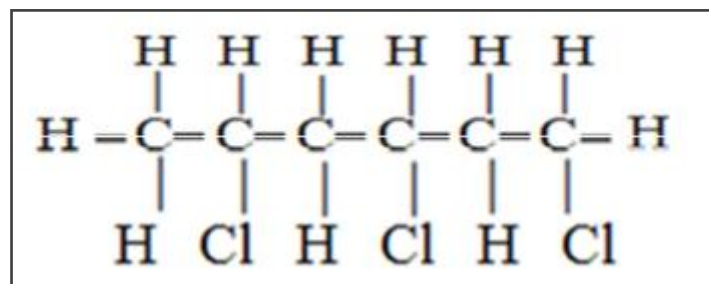


Figure 7 : Formule chimique du PVC (Allinger et *al.*, 1984).

2- Production et obtention de polychlorure de vinyle (PVC)

La production mondiale de PVC représente aujourd'hui plus de 20 millions de tonnes par an, ce qui correspond à environ un cinquième de la production totale de matière plastique, (Shashoua, 2004). Le PVC est fabriqué par polymérisation radical du chlorure de vinyle monomère (CVM) (Stephen, 1996). Par ailleurs, il faut préciser que la fabrication du CVM et du PVC se fait dans l'industrie chimique alors que la transformation du PVC en produit finis se réalise dans les entreprises de la plasturgie.

Les matières premières nécessaires à la fabrication du CVM ($\text{CH}_2\text{-CHCl}$) sont le chlore issu de l'électrolyse du sel et l'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) dérivé du pétrole. Par réaction du chlore et de l'éthylène on obtient le dichloro éthane ($\text{CH}_2\text{Cl-CH}_2\text{Cl}$), qui par une opération appelée « craquage » va donner du CVM et de l'acide chlorhydrique. La polymérisation de polychlorure de vinyle s'effectue en deux étapes (Anonyme, 2010) (Fig.8).

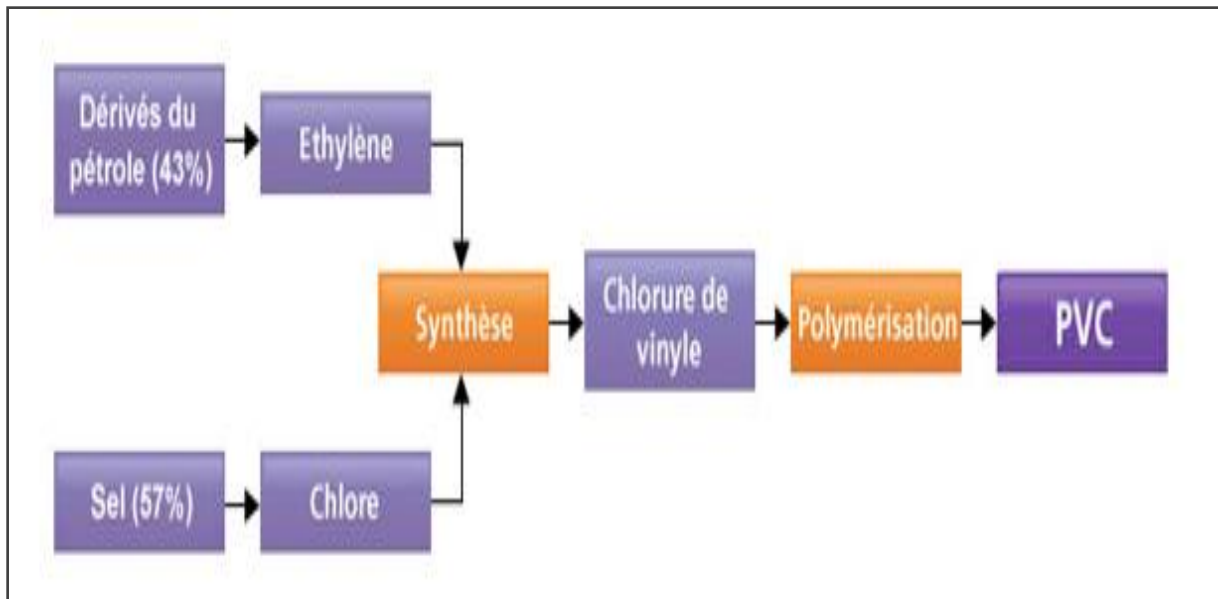


Figure 8 : Fabrication de la résine de PVC. (Anonyme, 2010).

2-1 Synthèse du monomère

La synthèse du chlorure de vinyle monomère (CVM) est réalisée suivant deux principaux procédés (Odiان, 1994) :

- L'addition du gaz chlorhydrique sur l'acétylène :



- La chloration de l'éthylène en 1,2-dichloroéthane, puis pyrolyse de ce dernier :



2-2 Polymérisation

La réaction de polymérisation du chlorure de vinyle monomère par voie radicalaire donne naissance à des macromolécules linéaires de masses moléculaires moyennes déterminées dont la répartition présente une allure gaussienne asymétrique. C'est une réaction fortement exothermique (Odiان, 1994). Il existe plusieurs procédés de fabrication du PVC et on peut citer :

a- Polymérisation en masse

Elle se fait en présence d'un catalyseur (peroxyde en général). Les produits obtenus sont d'une excellente pureté, d'une bonne transparence et font preuve d'une faible absorption d'eau (Mercier, 1983).

b- Polymérisation en émulsion

Dans ce cas, le chlorure de vinyle monomère liquide est émulsifié dans l'eau sous pression. La polymérisation est activée par des amorceurs solubles dans l'eau. Après séchage, on obtient des grains de PVC de 15 à 20µm de diamètre. Les chaînes du PVC obtenues ont un poids moléculaire bas, et la présence de ces émulsifiants augmente l'absorption d'eau.

c- Polymérisation en suspension

Le chlorure de vinyle monomère est dispersé dans l'eau par agitation. On obtient alors de petites gouttelettes. La suspension est maintenue par un agent de tensioactif (Gélatine, cellulose). Le PVC polymérisé obtenu possède de bonnes propriétés mécaniques et électriques et son absorption en eau est très faible (O dian, 1994).

d- Polymérisation en solution

Elle consiste à ajouter au monomère une certaine quantité de solvant dans lequel le polymère est insoluble, la séparation se fait par une simple filtration.

3- L'utilisation d'additifs dans le PVC**3-1 Gamme et types d'additifs**

Pour obtenir l'éventail des propriétés nécessaires dans les produits finis, un certain nombre d'additifs est mélangé au polymère PVC. Selon l'application à laquelle est destiné le PVC, sa composition (résine + additifs) peut varier énormément en fonction des quantités d'additifs différents qui sont incorporées dans le polymère: matériaux de remplissage, stabilisants, lubrifiants, plastifiants, pigments ou retardateurs de flamme. De très nombreuses formulations différentes de "compounds PVC" sont utilisées pour fabriquer les produits. L'utilisation de plastifiants (principalement de phtalates) et de stabilisants dans des quantités assez élevées constitue une caractéristique spécifique de la fabrication du PVC par rapport aux autres types de plastiques. Tous les autres types d'additifs sont également utilisés à des degrés divers avec d'autres matières plastiques.

3-2 Stabilisants et antioxydants

L'adjonction de ces produits au polymère a pour but de ralentir, retarder ou inhiber les processus responsables de la dégradation des matières plastiques sous l'action de la chaleur, de la lumière, des agents oxydants, de l'eau etc.... On distingue :

a- Stabilisants thermiques

Les stabilisants thermiques sont plus spécialement destinés à empêcher la dégradation thermique du polymère au cours de la mise en œuvre et à lui conserver ses propriétés physiques et mécaniques tout au long de son utilisation.

b- Sels métalliques

D'acides gras et autres acides organiques de zinc, de plomb, de sodium, de magnésium, de calcium ou de baryum, maléates, phtalates et naphtésates de plomb Les sels de dioctylétain sont peu toxiques. Des dérivés époxydés : on utilise des résines époxydes et des huiles époxydées de soja ou de ricin.

c- Stabilisants « lumière » (absorbeurs d'ultraviolets)

Ont pour rôle d'éviter les réactions de photodégradation des polymères sous l'influence de la lumière, en particulier du rayonnement ultraviolet.

d- Antioxydants

Sont des stabilisants qui s'opposent généralement à la rupture des liaisons dans les macromolécules sous l'action de l'oxygène et des agents polluants de l'air, au cours du vieillissement des matières plastiques. Ce sont généralement : des amines aromatiques elles sont sensibilisantes et certaines sont cancérogènes et de moins en moins utilisées.

3-3 Plastifiants

Se sont des composés généralement liquides, polymérisés ou non, de faible masse molaire (200 à 400 g/mol.). Ils peuvent entrer à plus de 100 % en masse de polymère dans la composition d'une matière plastique. Ils modifient les propriétés rhéologiques du polymère ou mélange polymère, améliorent la mise en œuvre, permettent d'améliorer la souplesse du produit fini, sa tenue aux chocs et aux basses températures. Les molécules du plastifiant agissent en affaiblissant localement les forces de cohésion intermoléculaires et rendent ainsi possible le déplacement de segments de chaînes macromoléculaires les unes par rapport aux autres, ce qui a pour effet de diminuer la rigidité de l'édifice moléculaire.

3-4 Charges et renforts

Les charges sont des substances organiques ou minérales, végétales ou synthétiques qui, ajoutées aux polymères ou mélanges polymères, permettent d'en modifier les propriétés physiques, thermiques, mécaniques et électriques ou simplement d'en abaisser le prix de

revient. Les propriétés ainsi conférées aux polymères ou mélanges polymères dépendent de la nature et de la forme de la charge utilisée (poudres, fibres, plaquettaires, petites billes...) ainsi que de la quantité ajoutée. Les charges minérales améliorent les propriétés électriques, la résistance à la chaleur et à l'humidité ; elles permettent également d'augmenter la densité de la matière à mouler et de diminuer le retrait. D'une manière générale, les charges granulaires se comportent comme un agent.

3-5 Solvants ou pigments

Ils sont principalement utilisés pour la mise en solution des polymères dans la préparation de peintures et vernis, de colles à base de polymères ou mélanges polymères synthétiques, dans l'enduction, l'imprégnation, et le revêtement d'objets divers, dans la confection de fibres artificielles, etc., ainsi que pour le nettoyage de machines et outils divers. Mis à part ces utilisations les solvants organiques sont peu utilisés dans la phase « plasturgie ». Actuellement leur utilisation est en cours de diminution car la profession cherche à les substituer par des solutions moins dangereuses (nettoyage aux détergents, peintures à l'eau etc...).

3-6 Lubrifiants

L'addition de lubrifiants à usage externe a pour but d'éviter que le polymère ou mélange polymère n'adhère au métal des outillages, elle facilite donc la mise en œuvre et le démoulage. Les lubrifiants à usage interne réduisent les frictions entre les chaînes polymères au sein de la matière plastique. Leur présence est faible, de l'ordre de 0,1 à quelques pourcents. Les principaux lubrifiants sont des stéarates métalliques, des stéaramides, des esters d'acides gras, des cires d'hydrocarbures et des acides gras.

3-7 Fongicides

Leur rôle est d'empêcher le développement de micro-organismes en se nourrissant de certains polymères (polyamides, polyuréthanes, alcool polyvinylique etc.) ou adjuvants des matières plastiques (plastifiants et lubrifiants) ou susceptibles de modifier les propriétés de ces matériaux. On utilise généralement des dérivés de l'isothiazoline, tributylétain, des sels métalliques (composés du cuivre, du zinc ou du mercure) etc. Les composés organomercuriels sont particulièrement toxiques par inhalation et contact cutané notamment. Leur utilisation est interdite comme les composés à base d'arsenic utilisés jusqu'à une époque récente (Sax et Lewis, 2007). Ils servent à obtenir des mousses ou des produits allégés. Ce sont :

- Des gaz inertes, azote ou CO₂ notamment ;
- Des produits chimiques qui, par action de la chaleur, libèrent un gaz inerte : bicarbonate de sodium peu nocifs, azodicarbonamide ; azobis (isobutyronitrile) nocifs par inhalation et dangereux par leurs produits de décomposition thermique, le tétraméthyl-succinonitrile ou l'acide cyanurique très toxique ;
- Du pentane (très inflammable) dans le cas du polystyrène expansé (Krawczak et *al.*, 2003).

3-8 Antistatiques

De par leur constitution, les matières plastiques ont tendance à se charger d'électricité statique. L'addition de produits, tels que amines, sels d'ammonium quaternaire, phosphates organiques, noir de carbone, alcool etc. est destinée à éviter l'accumulation des charges électriques. Ces produits, déjà incorporés à la matière plastique, sont utilisés en faible quantité (Mercier et Marechal, 1996).

4- Les techniques de transformation en produits finis

Après l'ajout des additifs, le PVC peut se présenter sous différentes formes ; granulés, poudre ou pâte liquide, suivants ces techniques :

4-1 L'extrusion

Les compounds sous forme de granulés ou de poudre passent dans un fourreau chauffé qui produit en continu des tubes, des profilés (fenêtres, fermetures, lambris électriques...) ou des plaques de bardage qu'il faut couper.

4-2 L'extrusion soufflage

De l'air est soufflée dans un moule pour plaquer la matière contre les parois. Ce procédé permet de fabriquer des corps creux, des bidons, des flacons et des films pour serres.

4-3 L'injection

Les granulés sont fondus, puis malaxés et poussés par une vis dans un moule. On obtient ainsi des raccords, des tiroirs, des boîtiers et des interrupteurs électriques.

4-4 Le calandrage

Passant entre des rouleaux chauffants, la matière est étirée pour obtenir des revêtements de sols et de murs, des nappes, des emballages et des films d'étanchéité.

4-5 Le thermoformage

Des plaques ou feuilles de PVC sont chauffées et appliquées sur un moule. On obtient alors des panneaux pour mobilier de cuisine, des plateaux et des casques.

4-6 L'enduction

On verse une pâte de PVC liquide appelée Plastisol sur un support, ce qui permet de produire des tissus enduits pour la maroquinerie et des revêtements de sols et de murs.

4-7 La fluidisation

Les poudres de PVC sont mises en œuvre par trempage en lit fluidisé. On en recouvre par exemple les grillages et les tubes métalliques.

III-Impacts du polychlorure de vinyle (PVC)

Des scientifiques et d'associations environnementales démontrent les nombreuses nuisances du PVC sur l'environnement et sur la santé des êtres vivants. Le potentiel cancérigène du chlorure de vinyle est reconnu chez l'homme depuis les années 70 (COM, 2000)

1-Impacts sur la santé

De nombreuses études et enquêtes épidémiologiques ont permis d'établir avec certitude son caractère cancérigène. De nombreux essais en laboratoire ont malheureusement confirmé ce potentiel cancérigène du chlorure de vinyle chez des cobayes exposés par inhalation ou par voie orale. Le danger cancérigène du PVC a donc été confirmé avec certitude tant chez l'homme que chez l'animal de laboratoire. Il est considéré comme l'un des matériaux les plus toxiques. Les phtalates (le DEHP ou le BBzP) utilisés comme plastifiant sont des perturbateurs endocriniens imitant l'œstrogène. Ils déclenchent également des crises d'asthme, des réactions allergiques et sont associés aux problèmes de cancer, de foie, de rein, de rate, d'os et de poids. Le PVC se trouve entre autre dans les jouets, les emballages en plastique transparents, le film étirable. (Jay et Chantal, 2014).

En ce qui concerne les stabilisants thermiques, les stabilisants à base de plomb sont actuellement les plus largement utilisés. La plus part de leurs composés y compris ce qui sont utilisés dans le PVC, sont classés comme toxique et présente un danger d'effet cumulés.

Dans le corps humain, ce métal se trouve principalement sous forme de composés inorganiques : dans le système respiratoire, sous forme d'aérosols contenant du plomb (absorption par les poumons), dans la nourriture et la boisson (absorption par l'intestin et par l'estomac). Encore aujourd'hui le plomb est une des causes les plus importantes d'empoisonnement pendant le 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, libres des enzymes ; la conséquence est une maladie du sang qui se manifeste par de la fatigue, par une perte d'appétit et des coliques douloureuses, en une blancheur de la peau et un affaiblissement des muscles (Bliefert et Perraud, 2004 in Stmons et Pocock, 1987). Les dommages causés par le plomb ne dépendent pas seulement de la dureté et de la sévérité de l'exposition mais surtout de l'âge auquel elle survient. Les enfants exposés au plomb seront les victimes de troubles neurologiques, les symptômes sont vagues : fatigue, troubles du sommeil, douleurs abdominales, constipation et anémie (Deoux, 1993).

1-1 Interaction contenant/contenu

On entend l'interaction contenant/contenu par le passage de substances entre deux milieux en contact, notamment au cours de la migration. Elle est surtout étudiée dans le cas d'un contact solide/liquide ou produit alimentaire. Par extension, le terme "migration" désigne la masse de ce qui migre et peut s'exprimer en mg/kg d'aliment ou en mg/dm² de surface en contact, la migration des plastifiants est exacerbée lorsque l'aliment est en contact avec le plastique (Lardjan 2011, Atek, 2010).

L'addition de plastifiants, pour les polymères ayant de puissantes forces polaires qui tendent à les rendre cassants, de charges, de lubrifiants et d'autres adjuvants, confèrent à la matière plastique d'excellentes propriétés mécaniques et de stabilité. Une telle gamme de possibilités en matière de conditionnement ainsi que l'excellent rapport coût/performances suffit à expliquer l'intérêt suscité par les matières plastiques et le développement prodigieux de la production et de l'utilisation de ceux-ci dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques, chimiques, alimentaires, et dans les applications médico-chirurgicales où il existe un contact permanent solide-liquide ou solide-solide. Cependant, certains de ces additifs sont capables de migrer de l'emballage vers les produits stockés grâce entre autres à leur petite taille : tel est le cas du Phtalate de 2-Éthylhexyle (DEHP) utilisé comme plastifiant du Polychlorure de Vinyle (PVC). Où il se produit le phénomène de migration des additifs de la matière plastique vers le produit stocké et par conséquent, le

PVC perd de sa plasticité et ses propriétés mécaniques pour lesquelles il a été choisi. L'étude du mécanisme de migration des plastifiants est donc d'un intérêt scientifique et industriel considérable, du fait de la contamination du milieu ambiant dans le cas des polymères utilisés pour le stockage ou le transport des liquides alimentaires, des médicaments ou des cosmétiques (Laoufi, 2018).

2- Impacts sur l'environnement

2-1 Impact sur l'air

Le PVC libère au contact de la chaleur, des toxines nocives présentes dans les nombreux additifs nécessaires à sa stabilisation. Ces toxines se propagent dans l'atmosphère, c'est ce que l'on appelle le COV (Composé Organique Volatil) qui s'évapore dans l'air suite à un phénomène de combustion ou d'évaporation. Ces particules nocives sont très volatiles et peu solubles qui se libèrent forment de la dioxine et de l'acide chlorhydrique, à l'origine des pluies d'acides. Elles se retrouvent facilement dans l'air, s'accumulent dans les sols et se transmettent par le toucher, par inhalation de l'air ou par voie orale. Le phénomène de migration de ces particules est accentué en présence de lumière solaire et peut, dans certains cas, s'avérer dangereux pour la santé.

Tous les précurseurs du PVC (chlore, dichloroéthane, chlorure de vinyle monomère) sont fortement toxiques et leur production génère des déchets et des émissions toxiques. La combustion du PVC qu'il s'agisse d'incendies accidentels ou de l'incinération des déchets entraîne la formation de dioxines, la substance chimique synthétique la plus nocive pour l'être humain qui soit connue. De plus, l'incinération de PVC entraîne la formation d'acide chlorhydrique, qu'il faut neutraliser par l'addition de chaux, ce qui a pour résultat absurde de faire que l'incinération d'une tonne de PVC entraîne la formation de plus d'une tonne de résidus secondaires dangereux.

2- 2 Impact sur l'eau

L'industrie du PVC est très polluante pour l'environnement, autour des usines de fabrication de PVC, on constate que les rivières et les étangs présentent une concentration importante de substances chimiques, toxiques qui peut poser des effets néfastes sur les organismes vivants. Les phtalates à chaînes longues ont une faible biodégradabilité dans des conditions normales de traitement des eaux usées. Le plomb dans les milieux aquatiques s'accumule dans certains mollusques comme les huîtres et il se concentre de plus le long de la

chaîne alimentaire, leurs utilisations pour réaliser des adductions d'eau ou les soudures d'adductions d'eau en cuivre sont une des sources possibles d'intoxication. Le cadmium est très utilisé en galvanoplastie, mais aussi pour les joints de canalisations. Le contact de l'eau d'alimentation avec des canalisations métalliques et plastiques (stéarate de cadmium) peut accroître l'apport du cadmium. Ces substances et autres, conduisent à un abaissement de la teneur en O₂ du milieu (en se dégradant), éventuellement à un phénomène de moussage et à long terme, à l'eutrophisation puis la mort des poissons (Pohland, 1991).

2-3 Impact sur le sol

En raison de leurs composants (plastifiants, additifs) et du possible rejet de contaminants adsorbés, les plastiques sont suspectés par ailleurs d'être une source de contamination des sols et des nappes phréatiques. Leur dégradation constitue un risque important de toxicité, Le taux de contaminants chimiques reste limité, mais plus dangereux pour la microfaune qui les accumulent.

Les végétaux ne supportent généralement pas les concentrations élevées des métaux lourds dans le sol. En effet, le plomb réagit avec le fer, ce qui provoque une carence en fer pour la plante (chlorose). Plus spécifiquement, l'excès de plomb dans le sol provoque une réduction de croissance des racines. Un rabougrissement de la plante peut s'en suivre. De plus, le plomb est bactéricide : il réduit l'activité microbienne dans le sol et donc la vitesse de décomposition de la matière organique dans celui-ci. En conséquence, la végétation est affectée.

IV-Généralité sur le sol

1- Introduction

Le sol joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres. C'est une ressource importante qu'il convient de protéger compte tenu de l'accélération de sa dégradation liée, souvent, aux activités humaines (Gobat et *al.*, 2010).

2- Définition du sol

Le sol est la couche la plus externe, marquée par les êtres vivants, de la croûte terrestre, (Gobat et *al.*, 2010). Ce qu'on appelle couramment « sol » est beaucoup mieux désigné par le terme de couverture pédologique (Baize et Jabiol, 1995). Le sol repose sur le sous-sol rocheux. Il est un milieu hétérogène, polyphasé, dispersé et poreux. C'est le substrat habituel de la croissance des plantes (Lemiere et *al.*, 2004).

3- Composition du sol

Le sol est composé de :

a- Végétation

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiable avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

b- L'humus

Une terre noire et souple, riche en matière organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol. Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser.

c- La couche arable

La couche dite arable, que l'homme peut travailler est un mélange riche en humus et en minéraux.

d- Le sous-sol

Généralement pauvre en humus avec peu de traces de vie.

e- La roche mère

100% minérale, sans air, sans vie.

4- Les propriétés du sol

La reconnaissance des sols est basée sur l'identification de leurs paramètres physico-chimiques (Duchaufour, 1994).

a- La texture : elle reflète la part respective des constituants triés selon leur taille (Gobat et *al*, 2010). Le triangle des textures indique à quel type appartient le sol considéré (Koller, 2004).

b- La structure : elle traduit la façon dont les particules terreuses sont disposées les une par rapport aux autres (Koller, 2004).

c- La perméabilité : elle est l'aptitude du sol à laisser passer l'eau vers les couches inférieures. Elle dépend de la texture et de la structure (Koller, 2004).

d- Le pH : il est un indice induisant le degré d'acidité ou de basicité du milieu.

e- L'aération : elle a des conséquences importantes sur la plupart des phénomènes biologiques du sol, qu'il s'agisse de l'implantation et du fonctionnement du système racinaire ou de l'activité des micro-organismes (Koller, 2004).

5- Définition d'un sol pollué

La dégradation du sol peut être considérée comme une accumulation de plusieurs effets (quelques fois opposés) provoquée par les polluants anthropologiques sur les diverses transformations physique, chimique et biologique se déroulant dans le sol. La tendance à la dégradation dépend de la résistance du sol, aussi bien que du type, de la qualité, de la longévité et de la bioréactivité des polluants (Koller, 2004).

6- Substances polluantes et sources de pollution

6-1 Substances polluantes présentes dans sol

Les polluants ou facteurs de pollutions sont extrêmement nombreux et d'autant plus difficile à cerner que leur nature, leur intensité et leurs effets se changent dans le temps et dans l'espace. Parmi les plus répandus, on trouve :

- Des hydrocarbures (autour d'anciennes cuve à fuel ou autres carburants, etc.) ;
- Des métaux lourds (dans d'anciens remblais comportant des mâchefers, etc.) ;
- Des solvants divers (solvants chlorés ou polaires, BTEX, etc.) ;
- Des pesticides, parfois en forte concentration sur les espaces verts aménagés (qui ont été traités pendant des années) ;
- Des matières plastiques variées (PE, PVC, PUR, PS) dont la dispersion est de nature préoccupante car elle renferme divers stabilisants, polymérisant et agents plastifiants ;
- Des peintures anticorrosives (cadmium, plomb, chrome, etc....).

Toutes ces substances (sources de pollution) constituent une menace pour l'environnement, et en particulier pour les eaux sous-terraines (Koller, 2004).

6-2 Sources de contamination

Les pollutions du sol proviennent principalement de trois ensembles d'activités : industrielles, urbaines et agricoles. Elles peuvent apparaître de différentes façons : directement de l'air par déposition sèches ou avec les précipitations (disposition humide), ou encore via des solides organiques tel que les composts, les déchets végétaux, les fertilisants et pesticides, etc.

Les dépôts atmosphériques apportent des quantités importantes de polluants dans les eaux, en particulier des métaux lourds et des polluants organiques. Une partie des polluants est fixée par les organes aériens de la végétation retombera plus tard avec la litière, ce dernier gagne directement le sol. L'acidification des précipitations par des acides (la pluie a une valeur de pH comprise entre 4 et 4,5) est responsable d'une grave acidification des sols. A

travers l'apport de substances minérales et l'introduction des matières nocives dégagées par l'industrie, les ménages et le transport, les éléments suivants se concentrent dans le sol : Sulfate, Nitrate, Phosphate, Cadmium, Plomb et les hydrocarbures (Koller, 2004)

Si il y a un ou plusieurs composés toxiques dont la concentration varie peu, la contamination est appelé diffuse. Dont les contaminations ponctuelles du sol, il s'agit le plus souvent de grandes quantités de polluants (décharges, sites industriels) (fig.9).



Figure 9 : Sol pollué à proximité d'une décharge (Ex-Habitat).

V- Perspectives :

1- Recyclage du PVC et leurs valorisations

Depuis quelques temps, plusieurs entreprises travaillent sur des projets concernant le recyclage des plastiques et d'une partie du PVC. Cependant ces projets posent encore de nombreux problèmes mais sans toutefois être insurmontables dans l'avenir. Au Nord, est devenu nécessaire pour des raisons écologiques et sous la contrainte de loi. Dans le sud, on le considère, avant tout comme une activité économique rentable, génératrice de revenus et créatrice d'emplois.

Le recyclage des matières plastiques n'est pourtant pas une activité aussi simple qu'elle ne paraît. Cela est principalement dû à une grande diversité de produit et des techniques de traitements. Derrière le terme « plastique » se cache une variété de produits fabriqués à partir du pétrole (43% du pétrole pour fabriquer la totalité des matières plastiques) qu'on peut classer en trois grandes familles : les thermoplastiques sont les plus faciles à transformer lors du recyclage (PVC, PET, PEHD, PP, PA, PS). A l'opposé, les thermodurcissables et des élastomères qui sont très difficile à recycler (PUR, silicone).

Ces différents plastiques ne peuvent que rarement être mélangés entre eux. Leurs recyclage demande un travail de tri au préalable et de nettoyage important de déchets ainsi qu'une sélection rigoureuse du procédé à appliquer.

Les procédés communément appliqués existants d'après MESSAL, (2015) sont :

- **Valorisation énergétique** consiste à incinérer les déchets plastiques pour récupérer l'énergie qu'ils contiennent sous forme de chaleur. Les plastiques, composés de pétrole raffiné, ont une capacité calorifique proche de celui-ci. Cette méthode de valorisation permet de recycler une grande partie des déchets plastique. En revanche si elle est mal maîtrisée elle peut présenter des risques majeurs pour l'environnement et la santé des êtres vivants par l'émission de dioxine et de HAP, molécules cancérigène présente dans les fumées.
- **Valorisation mécanique** consiste à réutiliser les déchets plastiques avec un minimum de transformation de la matière. Cette technique est utilisée pour le traitement des déchets thermoplastiques. Elle repose avant tout sur une collecte sélective ou un tri des déchets plastique a partir des ordures ménagères. Il est très souvent nécessaire d'avoir des déchets plastiques triés par type de résine plastique. Plus le tri est efficace plus le produit en sortie de valorisation matière est de bonne qualité. Les expériences que nous présentant ci-après sont des modes de valorisation matière.
- **Valorisation chimique** consiste a transformer la matière plastique en molécule de base (polymère, ester...), pouvant servir à la synthèse d'une nouvelle matière plastique, ou pour la pétrochimie. Ces technologies sont encore peu développées a certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et des pays émergents.

2- Les deux phases de recyclages des déchets plastiques

➤ Phase 1

- **Tri, lavage, séchage** : cette étape consiste à présenter un déchet plastique non-souille et trie par types et qualité de résine pour les opérations de broyage, granulation, extrusion. Ces opérations peuvent se faire sans machine.

➤ **Phase 2**

– **Broyage, extrusion, granulation** : cette étape va apporter une grande valeur ajoutée en transformant le déchet plastique en sous-produit commercialisable auprès de l'industrie plastique. Pour cela il est nécessaire de s'équiper en machine dans la consommation électrique n'est pas négligeable, surtout pour l'extrusion. La régénération du plastique permet de traiter tous les thermoplastiques avec le même équipement et selon le même procédé. Seuls les paramètres de réglage des différentes machines changeront en fonction du plastique traité (température, vitesse de rotation de l'extrudeuse.).

3- Avantages de recyclage du PVC

- Le PVC est très adapté au recyclage : il a été le premier des plastiques à être recyclé ;
- Le PVC dispose de systèmes de recyclage mécaniques évolués ;
- De gros volumes de déchets recyclables de PVC sont disponibles ;
- L'utilisation de PVC recyclé aide à atteindre les objectifs d'utilisation rationnelle des ressources et permet de préserver les matières premières.

L'utilisation de PVC recyclé réduit les émissions de gaz à effet de serre et les besoins en décharges. L'utilisation de 70 % de PVC recyclé dans la fabrication de profilés de fenêtres au lieu de PVC neuf économise jusqu'à 50 % d'énergie, et réduit de plus de 60 % tant la pollution de l'air que celle de l'eau.

De plus, en raison de sa nature thermoplastique, le PVC peut être recyclé plusieurs fois sans perte significative de performances.

I-Présentation du site d'enfouissement

La résidence universitaire Ex-Habitat est un ensemble d'infrastructures, rétrocedée par le ministre de l'Habitat. Elle est implantée à la sortie de la ville de Tizi-Ouzou vers Azazga. C'est une résidence qui est rattachée à la direction des œuvres universitaires Hasnaoua(DOUH). La superficie de la résidence est de 17938m² dont 2799m² bâti (fig. 10)

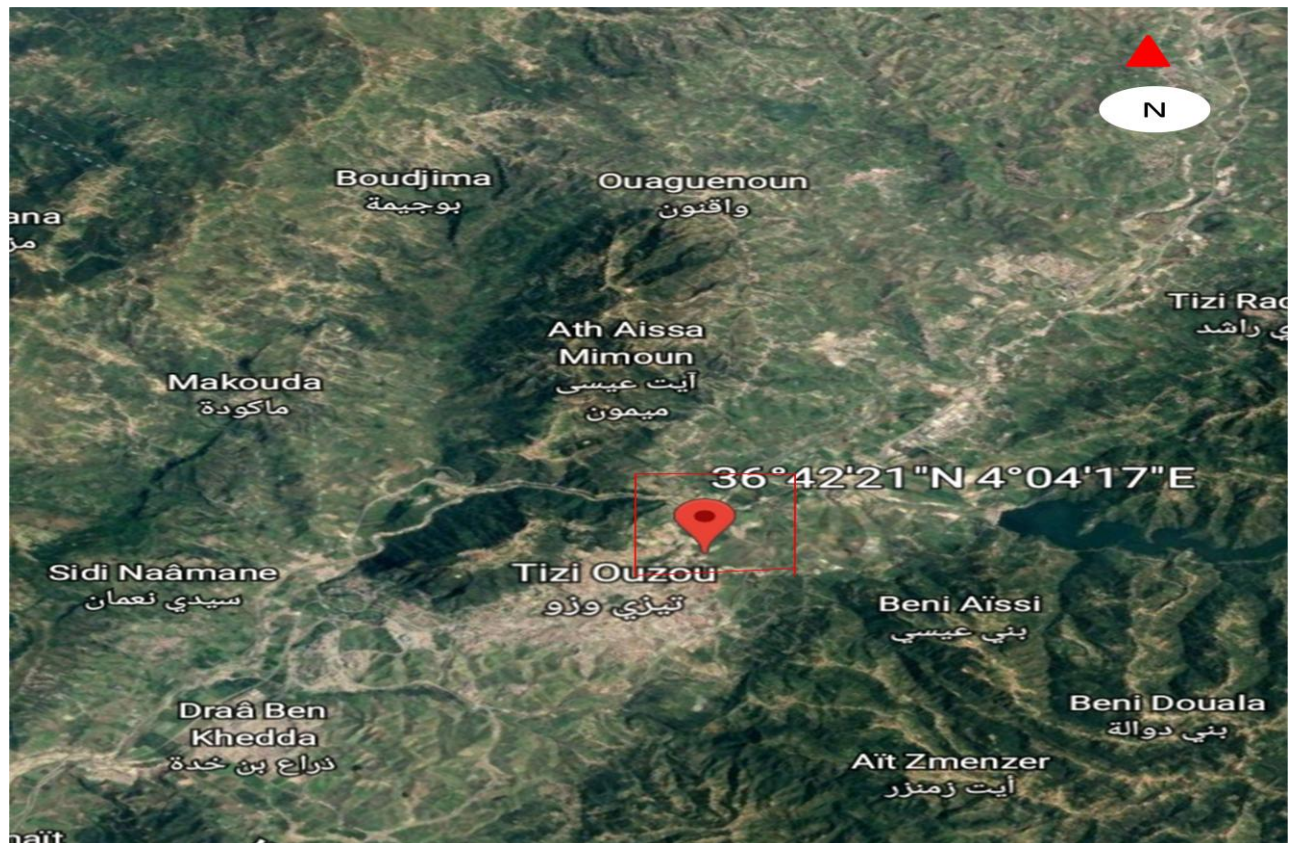


Figure10 : Vue aérienne de la résidence universitaire Ex-Habitat (Google Earth, 2019).

➤ Localisation et situation géographique

La résidence universitaire ex-habitat est implantée à la sortie de la ville de Tizi-Ouzou (fig.11), dont la délimitation est :

- Est : Beni Aissi.
- Ouest : Makouda.
- Nord : Ath Aissa Mimoun.
- Sud : Ait Zmanzer.

Avec une latitude de 36° 42' Nord et une longitude de 4° 4' Est.



Figure 11 : Localisation géographique de la résidence universitaire Ex-Habitat (Google Maps, 2018).

➤ Climat

Le climat de la commune de Tizi-Ouzou est de type méditerranéen. En raison des massifs montagneux qui entourent la ville elles se caractérisent par un hiver froid et humide, un été sec et humide avec orage en juillet et aout, (Haouche , 2018).

❖ température :

Pour calculer les températures moyennes annuelles et l'amplitude thermique, nous avons utilise les données thermique de l'ONM de Tizi-Ouzou (office national de météorologie de Tizi-Ouzou) de la période allant de 2001à 2017, (Haouche , 2018).

Les données thermiques qui correspondent à la commune d'étude sont figuré dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1: les données thermique de la commune de Tizi-Ouzou (2001-2017).

Températures				(M+m)/2
Mois		T M (°C)	T m (°C)	(°C)
Janvier		15.6	6.4	11
Février		16.2	6.9	11.55
Mars		19.4	8.8	14.1
Avril		22.2	11.1	16.65
Mai		26.3	14.1	20.2
Juin		32	18.1	25.05
Juillet		35.9	21.4	28.65
Aout		35.3	22	28.65
Septembre		31.1	18.7	24.9
Octobre		27.9	15.9	21.9
Novembre		19.9	11.4	15.65
Décembre		16.4	7.7	12.05

T M : températures mensuelles maximales en (°C)

T m : températures mensuelles minimales en (°C)

(M+m)/2 : Températures moyennes mensuelles en (°C) Le tableau ci –dessus montre pour la commune de Tizi-Ouzou que les mois juillet et aout sont les plus chauds avec une température de 28.65 ° C et le mois de janvier est le plus froid avec une température de 11° C, (Haouche , 2018).

❖ Les précipitations :

Tableau 2: pluviométrie moyenne mensuelle de Tizi-Ouzou (2001-2017).

Mois	Précipitation en mm
Janvier	137.87
Février	98.61
Mars	92.93
Avril	75.32
Mai	60.97
Juin	11.2
Juillet	2.25
Aout	5.86
Septembre	36.39
Octobre	58.10
Novembre	117.55
Décembre	130.40
Total	827.45

Les données pluviométriques consignées dans le tableau suivant montrent une pluviométrie annuelle de 827,45 mm sur une période de 17 ans. D'après ces données, nous remarquons une irrégularité dans la distribution des précipitations moyennes mensuelles. La moyenne maximale est enregistrée au mois de janvier 137,87 mm, et la moyenne minimale aux mois de juillet 2,25 mm et aout 5,86 mm, (Haouche , 2018).

❖ Le régime pluviométrique saisonnier

Tableau 3 : régime saisonnier des précipitations (2001-2017).

Saison	Hiver			Printemps			Eté			Automne			Type
Mois	Déc	Jan	Fé	Mar	Av	Ma	Jun	Ju	Ao	S	Oc	No	H.A.P.
P (mm)	366.88			229.2			19.1			212.04			E

Le régime saisonnier durant la période (2001-2017) est de type H.A.P.E (Hiver, Automne, Printemps, Eté). Les valeurs obtenues, montrent une concentration des précipitations durant la saison hivernale avec 366,88 mm, viennent ensuite le printemps et l'automne où les pluies sont peu abondantes avec respectivement 229,22mm, 212,04 mm. Enfin nous avons l'été où les précipitations sont faibles avec une valeur de 19,1 mm, (Haouche , 2018).

➤ **Synthèse climatique de la commune de Tizi-Ouzou :**

❖ **Diagramme ombrothermique de Bagnols et Gaussen :**

Selon Mutin (1977), le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gaussen permet de définir les périodes sèches. C'est un mode de représentation classique du climat d'une région déterminée (Dajoz, 2000). Bagnols et Gaussen(1953), définissent un mois sec comme celui où les précipitations exprimées en millimètres, sont inférieur ou égales au double de la température moyenne en ° C. La construction du diagramme se fait en portant sur l'axe des abscisses les mois de l'année. En ordonnées, les précipitations sont présentées à gauche et les températures moyennes à droit de telle façon que 1°C corresponde à 2 mm (P=2T). La fig.12 représente le diagramme ombrothermique obtenu pour la commune de Tizi-Ouzou, (Haouche , 2018).

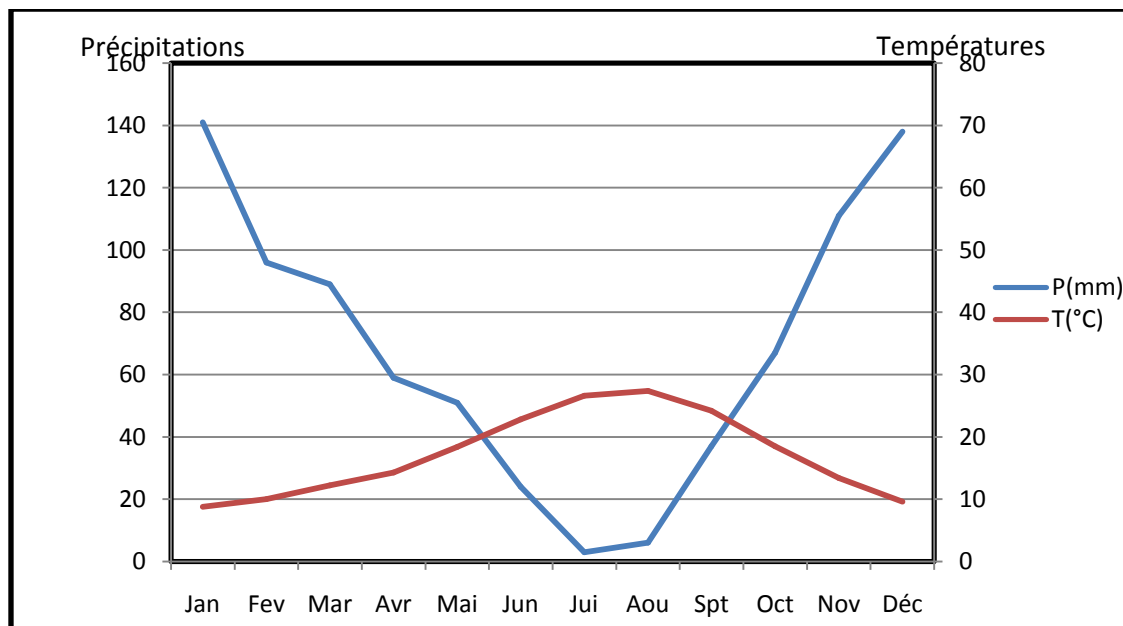


Figure 12: Le diagramme ombrothermique de la commune de Tizi-Ouzou (2001-2017).

D'après ce diagramme, la période de sécheresse s'étale aussi sur trois mois pour la commune de Tizi-Ouzou, de début de mois de juin jusqu'à la fin de mois de septembre, tandis que la période humide s'étale d'octobre à la fin du mois Mai, (Haouche , 2018).

Notons que la phase d'enfouissement de nos échantillons (de Mars à Mai), est réalisée en période humide.

II-Matériels

1-Polychlorure de vinyle (PVC)

1-1 Les produits utilisés

a- La résine du 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 ³	0,509-0,520

b- Les plastifiants

Le Di octyle phtalate (DOP), le Di-iso nonyle adipate (DINA) et di-iso decyle adipate (DIDA) sont les plastifiants utilisés dans la préparation des différentes formulations qui sont fournis par la société générale des plastifiants (Tunisie). Les tableaux (5,6 et 7) représentent les caractéristiques de DINA, DIDA et DOP respectivement.

Tableau 5 : caractéristiques du plastifiant di-iso nonyle adipate (DINA) (Anonyme, 1988).

Caractéristiques	Méthode	Unité	Valeur
Masse molaire	/	g/mol	398,6
Densité à 20 °C	DIN 51 562 ASTM D1298	g / cm ³	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

Tableau 6 : Caractéristiques du plastifiant di-iso decyle adipate (DIDA)

Caractéristiques	Méthode	Unité	Valeur
Masse molaire	/	g / mol	426
Acidité	ASTM D1045-86	g KOH / g	0.05
Viscosité à 20 °C	KLJTM	cp	25-27
Point d'inflammabilité	KLJTM	°C	235
Teneur en eau	ASTM E203-90	%	< 0,1

Tableau 7 : Caractéristiques du plastifiant di-octyle phtalate (DOP) (Anonyme, 2003).

Caractéristique	Méthode	Unité	Valeur
Masse molaire	/	g/mol	390.6
Densité à 20 °C	ASTM D1045-86	g/cm ³	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	ASTME203-90 Karl Fischer	%	<0.1

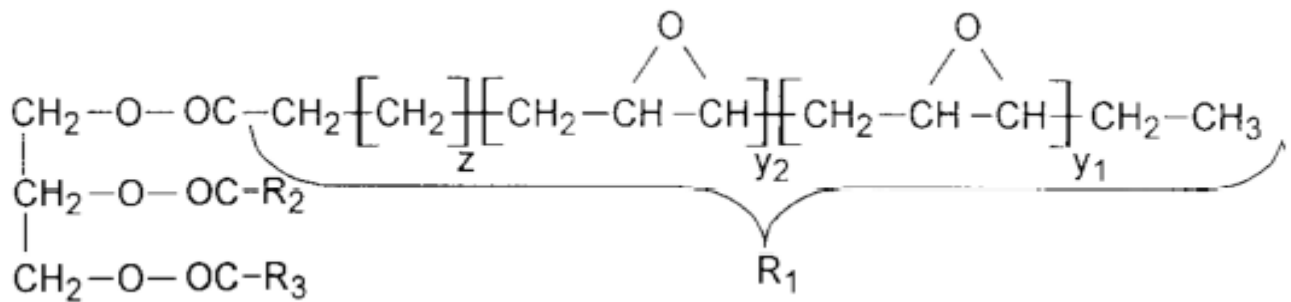
c- Les stabilisants thermiques et le lubrifiant

Les stabilisants thermiques et le lubrifiant utilisés dans la préparation des différentes formulations sont regroupés dans le tableau 8 :

Tableau 8: Les stabilisants thermiques et le lubrifiant utilisés.

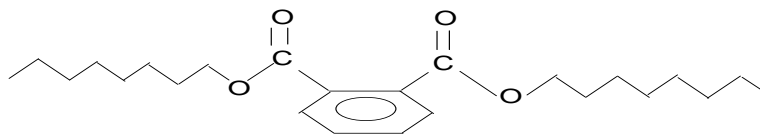
Produit	Nature	Formule chimique	Nom commercial	Fournisseur	Aspect
Stabilisants thermiques	Complexe calcium-zinc	/	Reapak BCV/3037	Italie	Poudre blanche
	Huile de tournesol époxydée	/	/	Préparée à l'école Nationale Polytechnique Algérie	Liquide jaune clair
Lubrifiant	Acide stéarique	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	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 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 % (Lardjane, 2013). La formule chimique de l'HTE est la suivante:



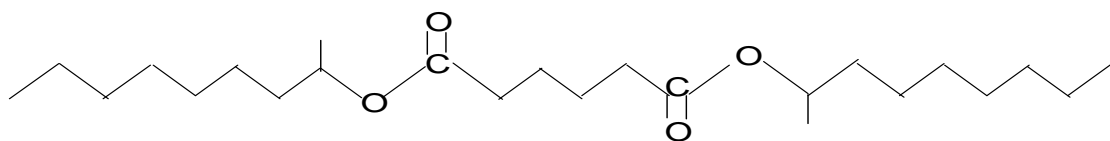
R2 et R3 peuvent être identiques ou différents de R1 du point de vue du nombre de Groupements époxydes présents.

Les formules chimiques des deux plastifiants utilisés sont les suivantes (fig.13) :

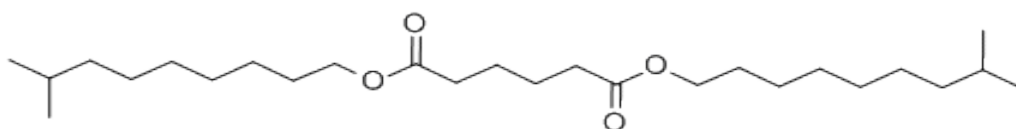


di- octyle phtalate(DOP)

:



di- isononyle adipate (DINA)



di-iso decyle adipate (DIDA).

Figure 13 : Les formules chimiques des plastifiants.

1-2 Formulations réalisées

Trois formulations plastifiées : P (DINA, HTE), P (DOP, HTE) et P (DIDA, HTE) ont été réalisées.

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-Le sol

Le sol utilisé dans notre travail provient du site situé en ex-habitat. C'est un sol contaminé par les déchets d'une décharge, cette contamination est le résultat des rejets provenant des déchets ménagers d'une grande part et d'autres types tel que le verre, le bois, le plastique, les métaux et textile...

2-1 Produits chimiques et milieux de culture

Les différents produits chimiques et milieux de culture utilisés sont mentionnés dans le tableau suivant (Tableau 9) :

Tableau 9 : Produits chimiques et milieux de culture.

		Utilisation
Sels	Chlorure de sodium (NaCl)	Préparation de l'eau physiologique
Sels amer	Chlorure de potassium (KCl)	Mesure de pH
Milieux de culture	Gélose nutritive (GN)	Repiquage des souches bactériennes
	Milieu King A	Isolement des Pseudomonas
	Milieu King B	Isolement des Pseudomonas
	Milieu Chapman	Isolement des Staphylococcus

2-2 Etude du comportement des formulations dans le sol

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 réalisé un test d'enfouissement dans le sol pour une période de deux mois et demi mars. Quatre éprouvettes de dimensions 40×20 mm chacune des trois formulations (DINA30%, DIDA30%, DOP30%) ont été enfouies dans trois parcelles du sol homogènes de dimension 1 x 0,7 m et à 20 cm de

profondeur (fig.14), deux prélèvements du sol ont été fait, le premier correspond au témoin (début de l'enfouissement) le deuxième a été effectué après deux mois et demi. Des prélèvements des éprouvettes ont été effectués chaque 15 jours (fig.15). Le site d'enfouissement se situe à Ex-Habitat willaya de Tizi-Ouzou.



Figure 14 : Représentation des trois parcelles d'enfouissement au niveau d'Ex-Habitat.

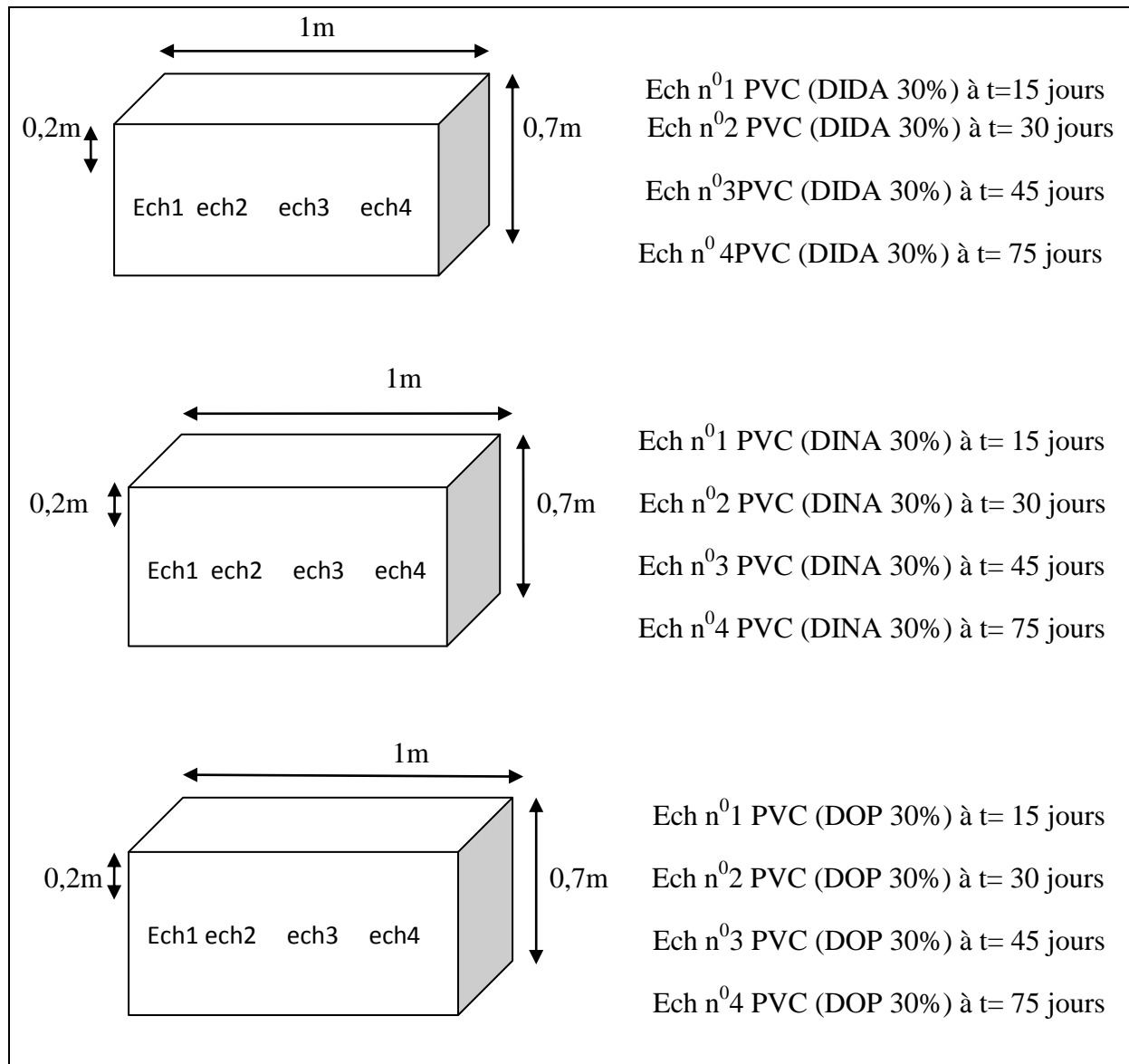


Figure 15 : Illustration de l'essai d'enfouissement.

3- Analyse du sol

- Préparation du sol

Le sol pollué échantillonné et tamisé à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm afin d'étudier les caractéristiques physico chimiques et bactériologiques.

3-1 L'humidité (l'hygrométrie)

Lors de la préparation du sol aux différentes analyses, il est généralement séché à l'air libre jusqu'à ce qu'il devient sec.

La détermination de l'humidité de l'échantillon du sol est faite par un dessiccateur halogène, une pesée de 10 g de sol frais, laissé sécher à l'air libre ensuite mis dans l'étuve à 105°C.

La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon mesuré.

L'humidité s'exprime en pourcentage(%) selon l'expression (01) :

$$H_2O(\%) = (P_2 - P_3 / P_3 - P_1) \times 100 \quad (01)$$

P_1 : le poids de la capsule vide ;

P_2 : le poids de la capsule vide +les 10g de terre fine ;

P_3 : le poids obtenu (capsule vide +terre séchée à l'étuve) ;

$P_2 - P_3$: correspond à la perte d'eau qu'ont subit les 10 g de terre séchée à l'air libre.

3-2 Détermination du potentiel d'Hydrogène

Le pH d'une solution dépend de la concentration relative des ions H^+ et OH^- . Si les ions H^+ sont majoritaires, la solution sera acide et si le contraire ce sont les OH^- qui l'emportent donc la solution sera basique.

La mesure du pH s'effectue sur une suspension de terre fine. Le rapport liquide/poids de terre doit être constant. La variation du pH est mesurée selon la norme inoLab qui repose sur l'utilisation d'un pH mètre, suivant les étapes ci-dessous:

- 20g de terre fine séchée à l'air sont mise en solution dans 50 ml d'eau distillée bouillie sous agitation pendant 5mn, laisser durant 2 heures le contenu du bécher ;
- Emerger l'électrode dans cette solution après le rinçage avec de l'eau distillée ;

La valeur du pH est affichée sur le potentiomètre après stabilisation.

3-3 Evaluation de la teneur en matière organique (MO) par perte au feu (méthode par déshydratation puis calcination)

La perte au feu s'exprime en pourcentage de la masse de l'échantillon déshydraté (après chauffage a 220°C).

Mode opératoire

- Chauffer les creusets durant 16H dans le four électrique à 550°C et noter le poids des creusets M_0 ;
- Introduire 5g de terre (<2mm) dans un creuset taré ;
- Mettre à l'étuve à 220°C durant 16H et noter le poids du creuset + échantillon déshydraté M_1 ;
- Placer le creuset et son contenu dans le four à 450°C pendant 4H et peser le creuset et son contenu ;

- Recommencer l'opération de calcination et noter le poids du creuset + l'échantillon calciné M_2 .

Le calcul est donné par l'expression (02) suivante:

$$\text{Perte au feu en \%} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (02)$$

3-4 Analyse granulométrique

Elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions des particules constituant les agrégats de sol qui peuvent être classées selon la classification d'Atterberg adoptée par l'association internationale de la science du sol (Baize, 2000).

L'analyse granulométrique a été effectuée sur une prise d'essai de terre fine (2mm), (Figure 16), basée sur le test de boudin et la méthode internationale de la pipette de Robinson (Aubert, 1982 ; Baize, 2000).

Le principe de cette méthode consiste à :

- détruire la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée ;
- disperser les particules par un dispersant énergétique l'hexametaphosphate de sodium et par agitation mécanique ;

Effectuer des prélèvements à l'aide de la pipette de Robinson, dans des flacons à sédimentation à des profondeurs et des moments déterminés en appliquant la loi des stocks.



Figure16 : Représentation des matériels utilisés dans l'analyse granulométrique.

3-5 Suivi de variation de masse des éprouvettes

L'évolution du taux de variation de masse des éprouvettes en fonction du temps d'enfouissement a été suivie en utilisant la formule (03) suivante :

$$V\% = \frac{(m_t - m_0)}{m_0} \times 100 \quad (03)$$

- m_0 : représente la masse initiale de l'échantillon de PVC avant l'enfouissement dans le sol.

- m_t : représente la masse de l'échantillon prélevé au temps t après enfouissement dans le sol.

3-6 Paramètres bactériologiques

a) Dénombrement des bactéries

Le dénombrement des bactéries vivantes est réalisé par culture sur milieu nutritif solidifié (GN) et coulé en boîte de Pétri, un prélèvement suffisamment dilué pour obtenir un bon nombre de colonies isolées, significatifs et facilement dénombrable (entre 30 et 300 colonies). Une solution mère (SM) à un rapport de 1/10 (sol/eau physiologique) est préparée. Les dilutions sont faites de la manière suivante:

- Mettre 9 ml d'eau physiologique dans des tubes à essai stériles ;
- Prélever 1ml de la SM et le mettre dans un 1er tube à essai pour avoir la dilution 10^{-1} , puis prélever la même quantité du tube qui contient la dilution 10^{-1} et le mettre dans le 2ème tube pour avoir la dilution 10^{-2} , l'opération est continuée jusqu'à la dilution 10^{-8} ;
- Ensemencer 0.1 ml de la SM et des dilutions 10^{-1} à 10^{-8} sur deux boîtes de Pétri chacune ;
- Incuber à 30° C pendant 24 à 48h ;
- Dénombrer les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies suivant la formule (04) suivante:

$$N = n \frac{1}{d.v} \text{ Avec} \quad (04)$$

N : nombre des MO en UFC /ml

d : dilution

n: nombre de colonies dénombrées sur boîte

v : volume prélevé à ensemencer (0.1ml).

b) Identification des souches**➤ Aspect macroscopique**

L'observation de l'aspect macroscopique des colonies permet d'effectuer une première caractérisation, avec une orientation possible des résultats au cours de l'identification. D'après Joffin et Leyral (2006), les critères d'identifications macroscopiques sont :

- **L'aspect** : il correspond au diamètre de la colonie, qui peut être punctiforme si le diamètre est inférieur à 1mm, ou non punctiforme si le diamètre est supérieur à 1mm ;
- **La forme** : ronde, irrégulière, ondulée, lenticulaire ou filamenteuse ;
- **La chromogénèse**: couleur de la colonie et à l'émission de pigment qui diffuse dans la gélose ;
- **L'opacité** : opaque, translucide ou transparente ;
- **L'élévation** : plate, convexe, centrée, ombiliquée ;
- **La consistance** : granuleuse ou homogène, sèche ou humide ;
- **La surface** : lisse ou rugueuse, brillante ou mate ;
- **L'odeur** : odeur caractéristique.

➤ Aspect microscopique

L'étude microscopique suit les principales étapes suivantes :

- Observation microscopique à l'état frais

L'observation a pour intérêt d'estimer la mobilité des souches pures. Un frottis est réalisée à l'aide d'une pipette pasteur; une colonie de 24 heures est mise en suspension dans de l'eau physiologique stérile sur une lame, couverte d'une lamelle. L'observation est faite au microscope optique au grossissement x 40.

- La coloration de Gram

C'est une double coloration qui nous permet de connaître la forme, l'arrangement, la pureté ainsi que la nature biochimique de la paroi des cellules purifiées (Marchal et Bourdon, 1982).

❖ Préparation du frottis**• Prélèvement :**

-La souche bactérienne est sur milieu solide : on dépose d'abord une goutte d'eau et puis le prélèvement est déposé dans cette goutte d'eau.

• Étalement :

-On étale la souche bactérienne en une couche mince et homogène.

- **Séchage :**

Le frottis est séché par passage au dessus de la flamme.

- **Fixation :**

Le frottis est fixé par la chaleur par passage 4 ou 5 fois dans la flamme.

- ❖ **La coloration du frottis**

- Recouvrir le frottis avec le violet de Gentiane, laisser agir 1 mn ;
- Rejeter le colorant et laver avec de l'eau, recouvrir avec le lugol, laissé agir 1mn ;
- Décoloré à l'alcool pendant 30 seconde ;
- Rincer à l'eau courante afin de neutraliser l'action de l'alcool ;
- Recouvrir le frottis avec la fuchine et laisser agir 1 mn ;
- Laver à l'eau courante jusqu'à ce que les eaux de rinçage ressorte claire ;
- sécher la lame, et observer à l'immersion ($G \times 1000$).

- ❖ **Lecture**

- Les bactéries Gram+ apparaissent en violet.
- Les bactéries Gram- apparaissent en rose.

- **Recherche des spores**

La coloration au vert de Malachite permet l'observation de la morphologie cellulaire, et de déterminer la présence ou l'absence de spores (Delarras, 2007).

Elle se fait selon les étapes suivantes

- Fixer le frottis à la flamme, traiter avec le vert de Malachite pendant 15mn jusqu'à Emission de vapeur ;
- Laver à l'eau courante ;
- Recouvrir avec la fushine pendant 5 mn ;
- Laver à l'eau courante ;
- Sécher et observer à l'immersion ($G \times 1000$).

Les spores sont colorées en vert et le corps bactérien en rouge.

4-Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) ou "Scanning Electron Microscopy" (SEM) occupe une position privilégiée dans le domaine de la caractérisation microstructurale des matériaux (Fig.17). Elle permet de donner sur l'échantillon non seulement des renseignements relatifs à la morphologie et à la répartition des constituants mais aussi des informations cristallographiques et compositionnelle (Rust 2006).

Le principe est qu'un faisceau d'électron balaie la surface d'un échantillon, l'interaction entre le faisceau électronique et l'échantillon génère des électrons secondaires ou des électrons rétrodiffusés. Ceci est capté par un détecteur qui donne un signal. Ces signaux peuvent former des images de l'échantillon détecté (Dong, 2013).



Figure 17: MEB ESEM XL 30 Philips à filament de tungstène.

5- L'analyse par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier est une méthode rapide qui donne des informations quantitatives et qualitatives en caractérisant les groupements fonctionnels et des composants majeures des différents échantillons du sol.

Cette méthode analytique est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau.

Lorsque la longueur d'onde (l'énergie) apportée par le faisceau lumineux est voisine de l'énergie de vibration de la molécule, cette dernière va absorber le rayonnement et nous enregistrons une diminution de l'intensité réfléchie ou transmise. Un matériau de composition chimique et de structure donnée va correspondre à un ensemble de bande d'absorption caractéristique permettant d'identifier ce matériau (Anonyme, 2004).

Les éprouvettes de PVC ont été analysées avant enfouissement à ($t=0$) et à après deux mois et demi d'enfouissement à ($t= 2.5$ mois) et cela à l'aide d'un appareil de marque 100 FT-IR (fig.18) qui dispose d'un système optique qui permet de recueillir les données d'analyse sur un éventail total de 7800 à 370 cm^{-1} avec une résolution idéale de $0,5\text{ cm}^{-1}$, d'un détecteur

infrarouge central et d'un système électronique pour le traitement du signal. L'équipement est connecté à un ordinateur qui permet le pilotage de l'instrument et le traitement des résultats d'analyse via utilisation du logiciel software Spectrum ES Perkin Elmer. L'équipement est ainsi doté de plusieurs accessoires à savoir l'UATR (Universel Atténue totale Reflectance Accessory). Les résultats sont donnés sous forme de spectres.



Figure 18 : Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR), (Originale, 2019).

Etude du comportement des nouvelles formulations (PVC) dans le sol.**I-Caractéristiques du sol utilisé****1-Suivi de l'humidité**

L'évolution de l'humidité au cours de l'essai a subi des changements comme le montre la fig.19.

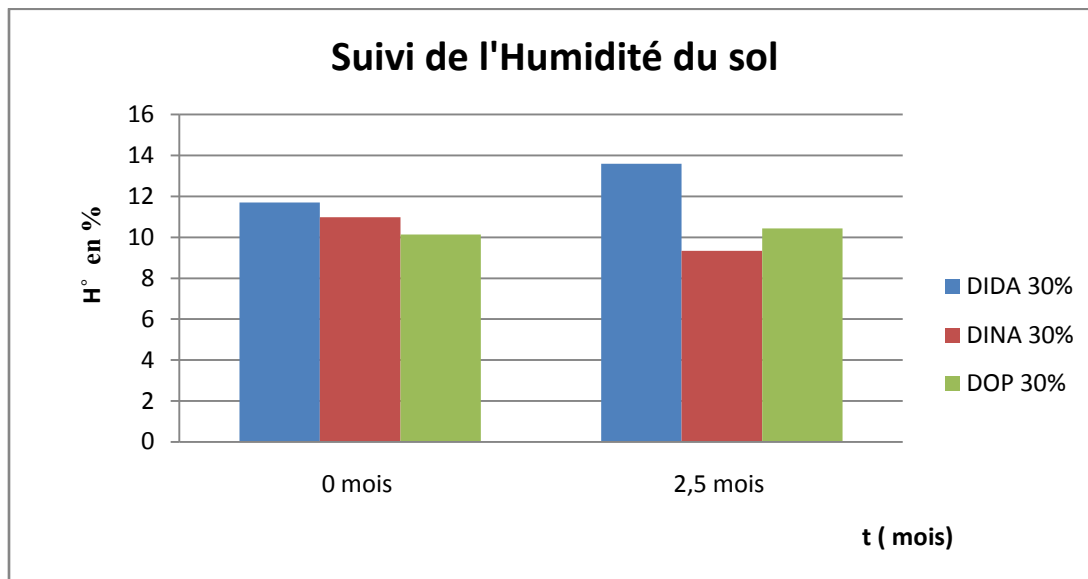


Figure 19: Suivi de l'Humidité en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.

A partir des résultats, nous avons enregistré une humidité du sol égale à 10,12 % pour la formulation contenant le DINA 30%, 10,89 % pour le DOP 30% et une valeur de 11,69% pour le sol contenant le DIDA à 30%.Après deux mois et demi de l'essai, la valeur la plus élevée a été enregistrée dans le cas de formulation contenant le DIDA 30% (13,59 %). Une légère augmentation de l'humidité a été observée pour la formulation contenant le DOP 30% (10,43%), et une légère diminution pour celle contenant le DINA 30 % (9,335 %). Ce changement du taux d'humidité est dû aux pluies, climats, capacité de rétention d'eau ou à l'emplacement des parcelles.

Selon Davis et Madsen (1996), les taux d'humidité du sol inférieur à 2% limitent la croissance bactérienne et les vitesses de biodégradation. Nous pouvons donc dire que l'humidité de notre sol ne sera pas un facteur limitant mais elle reste suffisante pour la croissance bactérienne.

2-L'évolution du pH

L'évolution du pH en fonction du temps d'enfouissement dans le sol est représentée sur la fig.20.

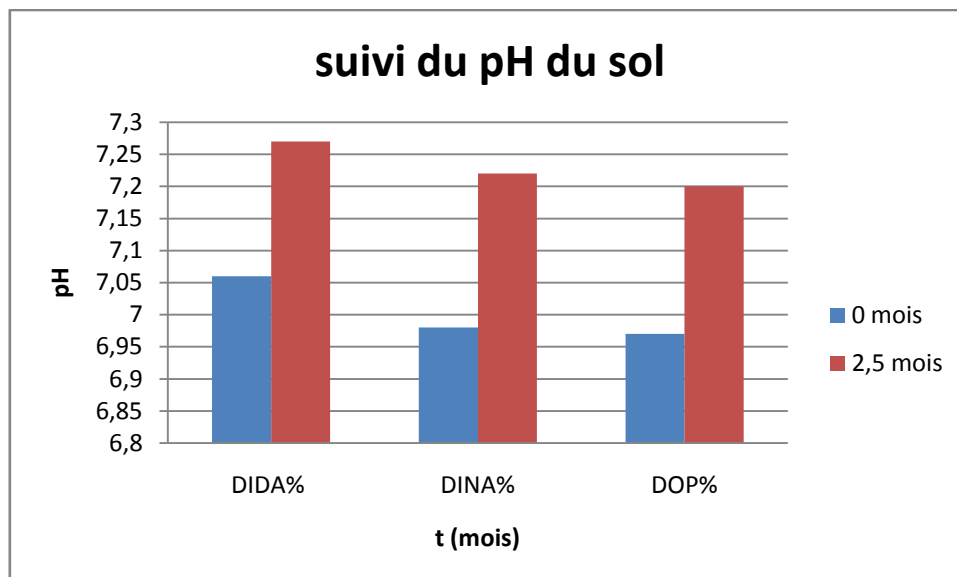


Figure 20: suivi du pH en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.

La figure ci-dessus montre que le pH change tout au long de la période d'essai. La mesure du pH du sol avant d'entamer l'enfouissement était légèrement acide pour les deux parcelles qui contiennent les formulations DOP 30 % (6,97) et DINA 30 % (6,98) et légèrement alcalin pour celui de DIDA 30 % (7,06). Après deux mois et demi d'enfouissement nous constatons une légère augmentation du pH du sol qui atteint la valeur de 7,27 pour le DIDA 30%, 7,22 pour le DINA 30% et 7,2 pour le DOP 30%, cette augmentation est expliquée par la migration des acides gras provenant de l'HTE (Chouiref, 2004). Nous constatons que les valeurs du pH des sols contenant le DIDA et DINA sont légèrement supérieures à celle du sol contenant le DOP, cette différence est peut-être due à la faible viscosité des plastifiants adipates qui favorise le phénomène de migration, en particulier les acides gras (Chouiref, 2004).

D'après Gabet (2004), l'activité microbienne est très affectée par le pH, il doit être compris entre 5 et 9. En outre, le pH recommandé pour une biodégradation optimale se situe entre 7 et 8 qui favorise la croissance des bactéries et des champignons (Leahy et Cotwell, 1990). Dans le cas de notre sol un ajustement de pH n'est pas nécessaire, par conséquent la biodégradation est possible.

3-L'évolution de la matière organique

Nous qualifions les sols selon leurs teneurs en matière organique d'après les normes de Soltner (1996), (tableau 10).

Tableau 10 : Normes d'appréciation de la matière organique de sol (Soltner, 1996).

MO (%)	0-1	Extrêmement faible
	1-1,5	Très faible
	1,5-2,5	Faible
	2,5-3,5	Moyen
	3,5-4,5	Moyen élevé
	4,5-5,5	Elevé
	□5	Très élevé

Les résultats de la mesure de la matière organique de nos sols analysés sont reportés dans la fig.21.

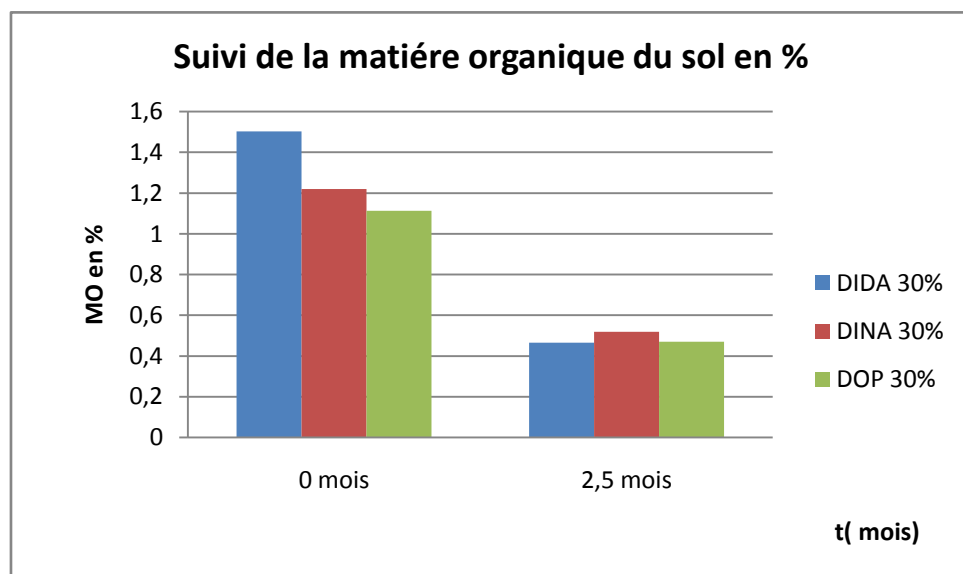


Figure 21: Teneurs en matière organique en fonction du temps d'enfouissement de PVC dans le sol.

Les résultats de l'analyse montrent que le taux du carbone est élevé dans le cas des échantillons témoins. Nous avons enregistré la valeur de 1.50 pour la formulation contenant le DIDA 30%, 1.22 pour le DINA 30 % et 1.11 pour le DOP 30 %, selon les normes d'appréciations de la matière organique du sol par Soltner (1996) notre sol et très faible

(1-1,5). Après deux mois et demi de l'enfouissement nous remarquons une diminution du taux de la matière organique au niveau des trois sols contenant les formulations, selon les normes d'appréciation de la matière organique du sol par Soltner (1996) notre sol est extrêmement faible (0-1). La diminution de la matière organique dans le sol contenant les formulations est peut être attribué au manque des débris des végétaux et animaux et aussi à la pollution du sol qui élimine et dégrade l'humus du sol ou à l'activité bactérienne.

4- Résultats de l'analyse granulométrique

Le test du boudin obtenu a révélé une texture Limono-sableuse. Les résultats obtenus à partir de l'utilisation de la méthode internationale de la pipette de Robinson sont représentés dans le tableau 11. Sachant que : sol1 est DIDA 30%, sol 2 est DINA 30% et sol 3 est DOP 30%.

Tableau 11 : Evaluation des classes texturale du sol.

Sol Texture	Echantillon	Sol 1	Sol 2	Sol 3
Argile %	14,825	6,8775	9,125	3,6
limon %	20,604	30,5767	24,2425	40,6945
sable%	64,571	62,5685	66,6325	55,70,55

Le tableau ci-dessus représente les différentes fractions de notre sol d'après l'analyse granulométrique qui montre une dominance pour la fraction sable dans toutes les parcelles, puis le limon en deuxième classe et l'argile en dernier. Nous déterminons les textures de ces sols à partir du diagramme de l'U.S.D.A. D'après les résultats, les différents sols ont une texture Limono-sableuse. Nous remarquons que la texture de notre sol avant et après enfouissement est Limono-sableuse donc ce sol est pauvre en particules fines (Argile).

5-Suivi de variation de masse

La figure 22 représente la variation de masse des éprouvettes en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.

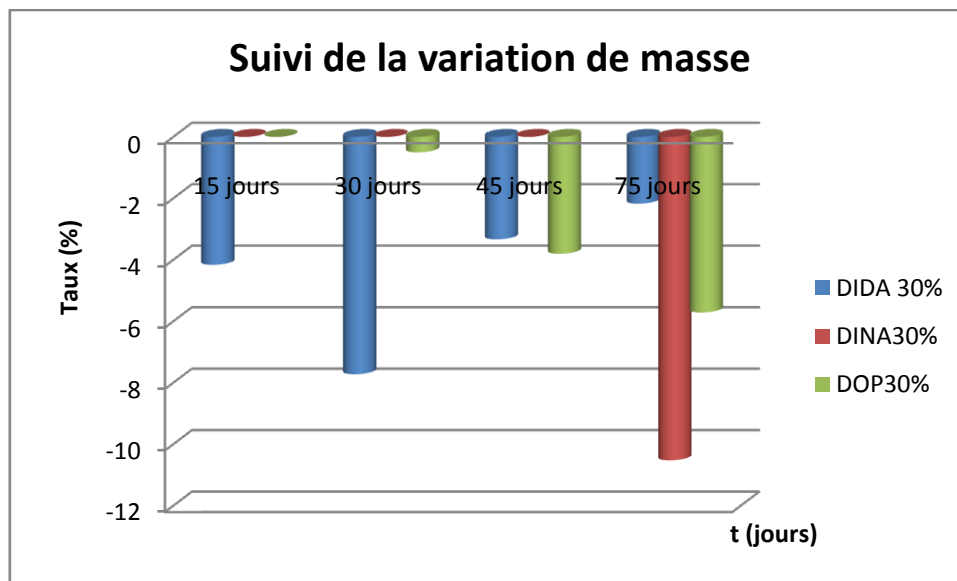


Figure 22: variations de masse en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.

Les résultats montrent que le taux de variation de masse des éprouvettes contenant la formulation DIDA 30% a diminué dès le premier prélèvement (15 jours), cela s'explique par la perte des additifs du PVC par le phénomène de migration et l'activité des microorganismes. Pour le sol contenant la formulation DOP 30% la diminution de masse a été observée à partir de 30 jours, pour le DINA 30% la diminution de masse commence après 75 jours d'enfouissement. Le taux de variation de masse le plus important a été enregistré dans le cas des formulations contenant les plastifiants adipates. En effet, la biodégradation dans ce cas est rapide vu la structure linéaire de DINA et DIDA par rapport au DOP qui possède un noyau aromatique résistants (Lardjane et *al.*, 2013). D'autre part, la variation de masse est liée à la différence de viscosité des plastifiants. Le DINA et le DIDA possèdent une viscosité plus faible que celle du DOP, donc il peuvent s'insérer plus facilement entre les chaînes du polymère et réduire les interactions inter chaînes (Marcila et *al.*, 2004).

6- Analyse des paramètres bactériologiques

6-1 Dénombrement des bactéries

Les résultats sont obtenus par le dénombrement des colonies bactériennes en milieu nutritif solidifié coulé en boîte de Pétri. Pour le sol témoin la croissance bactérienne est de l'ordre de $1,34 \times 10^4$ UFC/g. Après deux mois et demi d'enfouissement nous constatons une augmentation importante de la croissance bactérienne pour la formulation DIDA 30% qui est de l'ordre de $1,9 \times 10^7$ UFC/g, $1,8 \times 10^6$ UFC/g pour le DOP 30% et $2,1 \times 10^5$ UFC/g pour le DINA 30% qui s'explique par la phase exponentielle qui correspond à l'assimilation du

substrat. Nous constatons que la valeur la plus importante a été enregistrée dans le cas de la formulation contenant le DIDA 30 %, cela est dû à l'accès facile des microorganismes pour la biodégradation de ces plastifiant 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).

6-2 Identification des souches

a-Etude macroscopique

Après 24 à 48 heures d'incubation à 37°C, une croissance bactérienne a été constatée par l'apparition des colonies sur la gélose nutritive (GN). Les résultats obtenus d'étude macroscopique des colonies bactériennes des différentes souches sont représentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : caractères macroscopiques des colonies bactériennes.

Souche	S1	S2	S3
Aspect	<1 mm	1 à 3 mm	□1 mm
Forme	Ronde	Irrégulière/ ronde	Irrégulière/ Ronde
Chromogénèse	Jaunâtre/non pigmenté	Blanc cassé /non pigmenté	Blanc cassé/ non pigmenté
Opacité	Opaque	Opaque/ translucide	Opaque
Elévation	Légèrement convexe	Plate /légèrement convexe	Convexe
Consistance	Humide/ homogène	Humide/ homogène	Humide/homogène
Surface	Lisse/ brillante	Lisse / brillante	Lisse/ brillante
Odeur	+	+	+

b-Etudes microscopique

Les résultats de l'étude microscopique des cellules bactériennes sont représentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats des observations microscopiques des colonies bactériennes.

Caractère	Etat frais	Coloration de Gram	Gram	Forme	Arrangement	La présence de la spore
Souche						
S1	Immobile	Violet	+	Cocci	Isolé, diplocoque, chaînette, groupé en amas	Asporulée
S2	Immobile	Rose	-	Bacille	Isolé, diplo bacilles ou chaîne	Asporulée
S3	Immobile	Violet	+	Bacille	Longs bacilles à courte chaîne	Asporulé

Identification des souches bactériennes par les milieux de cultures King A, King B et le Milieu Chapman :

Les milieux King A et le King B sont des milieux qui permettent de différencier entre les espèces du genre de *Pseudomonas*, par la mise en évidence de la production de pigments spécifiques. Le milieu Chapman est un milieu sélectif qui permet la croissance des germes halophiles parmi ces derniers les bactéries du genre *Staphylococcus* et *bacillus*.

- **Souche 1** : A partir de l'observation macro-microscopique (a et b) présentée dans la figure 23 et les résultats obtenus par le milieu de culture Chapman nous avons pu la rapprocher au genre *Staphylococcus* du fait sa forme en cocci, Gram+ et l'odeur caractéristique et la couleur jaune.

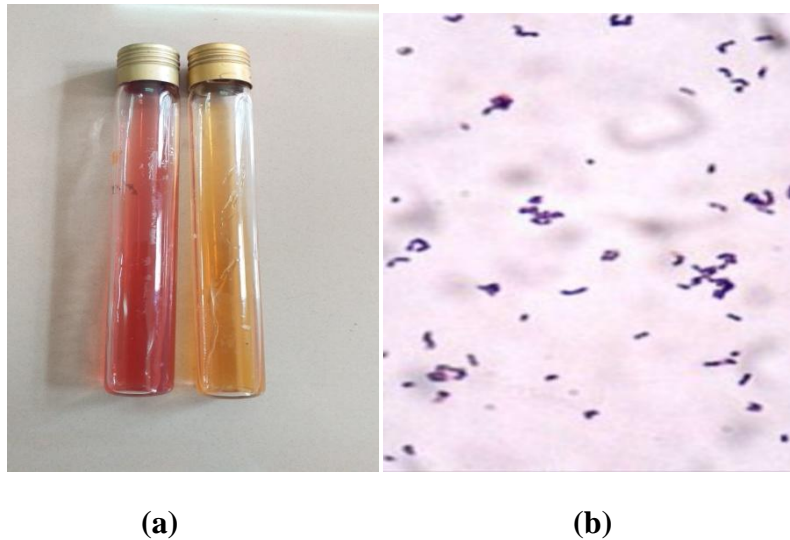


Figure 23 : Aspect macroscopique (a) (virage de la couleur rouge vers le jaune) et microscopique (b) après coloration de Gram de la souche 1 (au grossissement GR×100).

- **Souche 2** : A partir de l'observation macro-microscopique (a et b) présentée dans la figure 24 nous avons constaté l'absence de couleur dans le milieu King A par contre l'apparition de la couleur jaune-vert dans le milieu King B qui montre la présence du genre *Pseudomonas* du fait sa forme bacille, Gram négatif et l'odeur caractéristique.

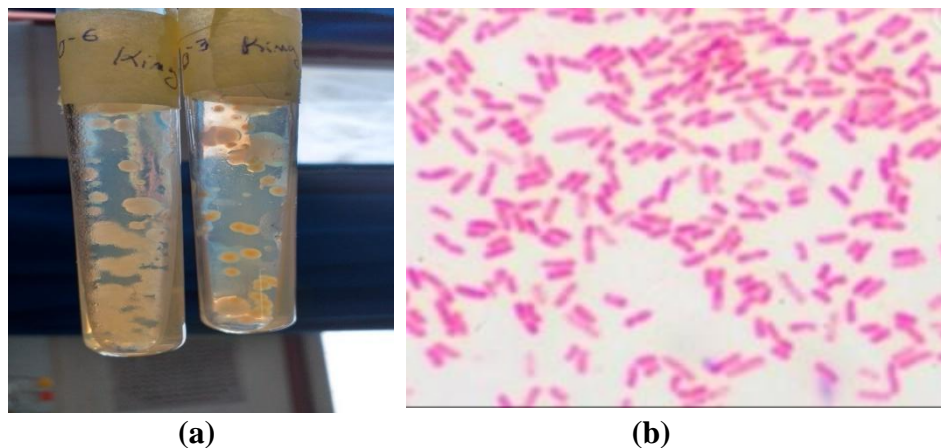


Figure 24 : Aspect macroscopique (a) microscopique (b) après coloration de Gram de la souche 2 (au grossissement GR×100).

- **Souche 3** : A partir de l'observation macro-microscopique (a et b) présentée dans la figure 25 et les résultats obtenus dans le milieu GN nous avons pu la rapprocher au genre *Bacillus* du fait sa forme bacille, Gram positif et l'odeur caractéristique.

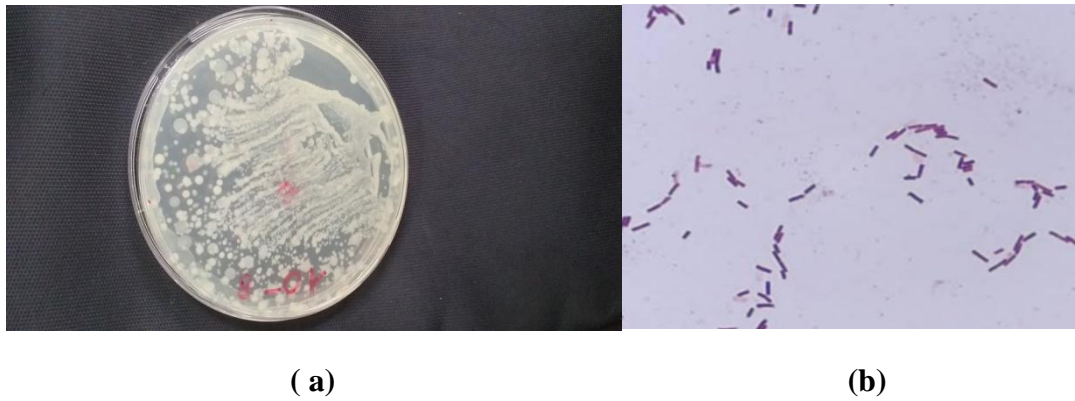


Figure 25: Aspect macroscopique (a) microscopique (b) après coloration de Gram de la souche 3 (au grossissement GR×100).

II-Caractérisation Préliminaire du PVC et des additifs par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

Avant de procéder l'étude, une caractéristique préliminaire des additifs à été caractérisées :

1-Le polychlorure de vinyle (PVC)

La figure 26 représente le spectre infrarouge du PVC et le tableau 14 regroupe les principales bandes caractéristiques de ce dernier d'après la littérature (Hesse, Krimm et al, 1997).

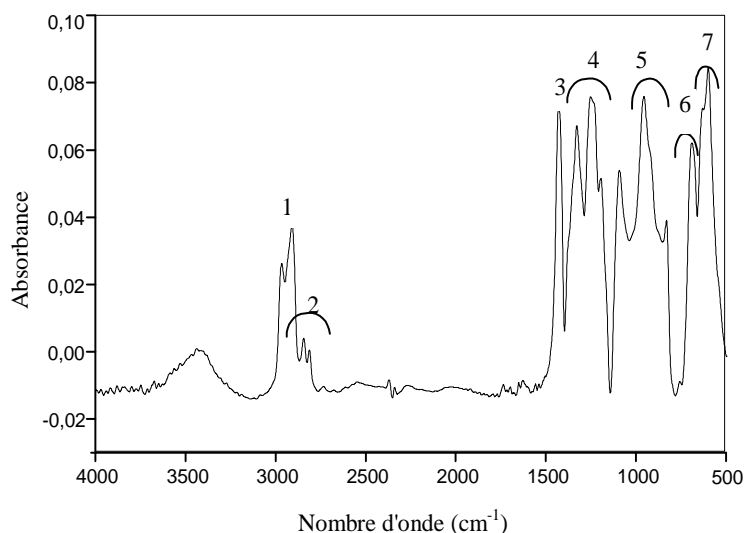


Figure 26 : Spectre infrarouge du polychlorure de vinyle PVC.

Tableau 14: Groupements fonctionnels caractéristiques du PVC seul (Hesse, Krimm et al, 1997).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Mode de vibration et attribution
1	2970	Elongation des – CH -
2	2935 - 2850	Elongation des CH ₂
3	1430	Déformation des CH ₂
4	1350 - 1297	Déformation des CH ₂
5	1260 - 1200	Déformation des C-H
6	970 - 830	Déformation des CH ₂
7	770 - 540	Elongation des C – Cl

Le stéarate de zinc

La figure 27 représente le spectre infrarouge du stéarate de zinc incorporé dans la composition des formulations utilisées dans cette étude. Un certain nombre de bandes caractéristiques relatives à des groupements fonctionnels a été résumé à partir de ce spectre et présenté dans le tableau 15.

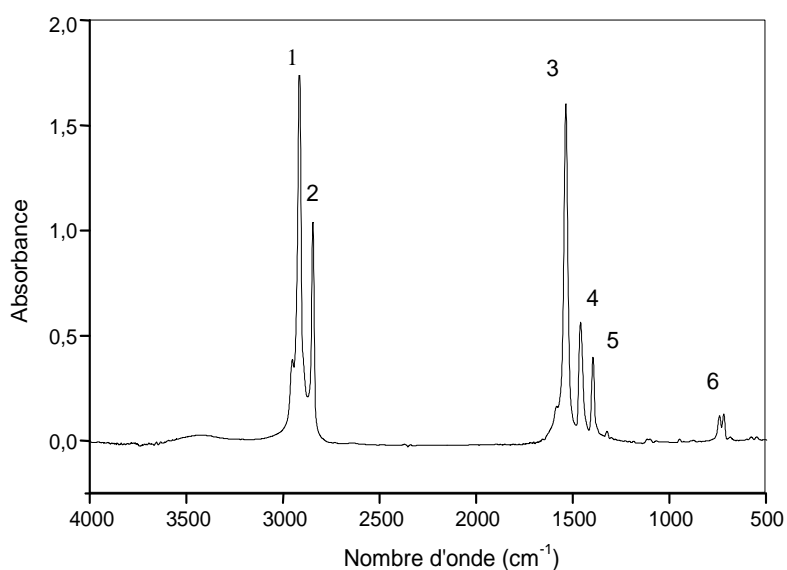


Figure 27 : Spectre infrarouge du stabilisant thermique stéarate de zinc.

Tableau 15 : Groupements fonctionnels caractéristiques du stéarate de zinc (Socrates, 2002).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Groupe ment caractéristique
1	2956	C – H (méthyle, méthylène)
2	2919	
3	1540	COO (ester)
4	1463	
5	1326	H – C – H (méthyle, méthylène)
6	722	

Le stéarate de calcium

Le spectre infrarouge du stéarate de calcium est représenté par la figure 28. Le tableau 16 résume les principaux groupements fonctionnels caractéristiques.

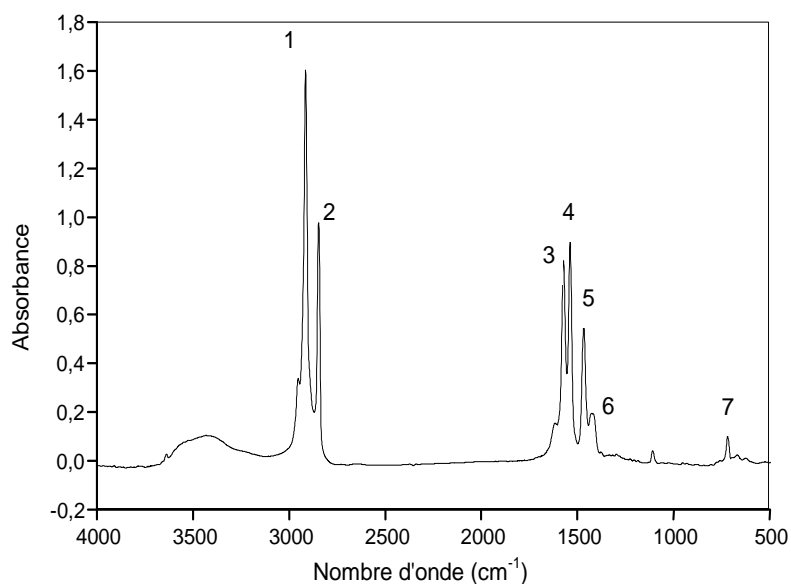
**Figure 28** : Spectre infrarouge du stéarate

Tableau 16 : Groupements fonctionnels caractéristiques du stéarate de calcium (Socrates, 2002).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Groupelement caractéristique
1	2918	C – H (méthyle, méthylène)
2	2850	
3	1578	COO (ester)
4	1542	
5	1471	
6	1430	H – C – H (méthyle, méthylène)
7	722	(CH ₂) _n , n > 3

L'acide stéarique

Le spectre infrarouge représenté sur la figure 29 permet d'identifier un certain nombre de bandes caractéristiques des groupements fonctionnels du lubrifiant (acide stéarique) utilisé dans cette étude et que nous avons résumées dans le tableau 17.

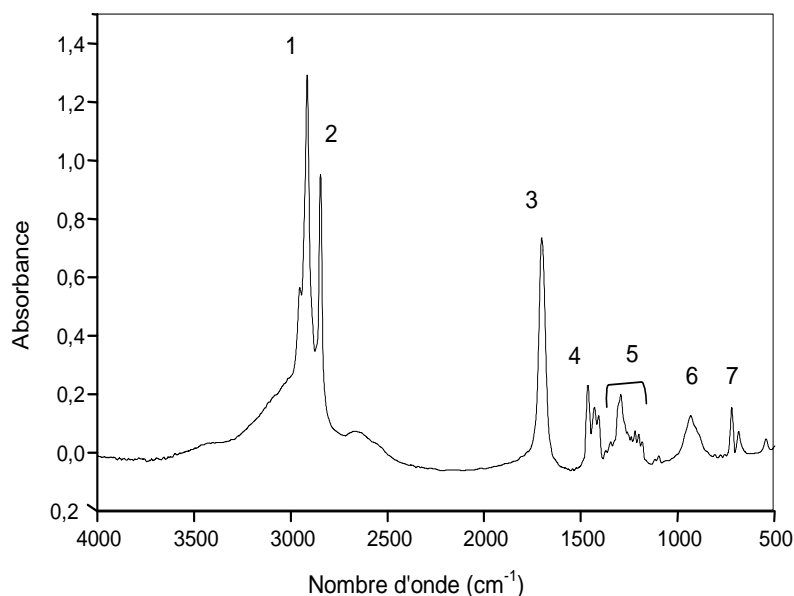


Figure 29: Spectre infrarouge de l'acide stéarique.

Tableau 17 : Groupements fonctionnels caractéristiques de l'acide stéarique (Socrates, 2002).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Groupement caractéristique
1	2956	OH
2	2919	C – H
3	1706	C = O (acide dimère)
4	1468	C – O , O – H
5	1434	CH ₂ (chaîne aliphatique)
6	936	O – H
7	724	(CH ₂) _n , n > 3

L'huile de tournesol époxydée

Le spectre infrarouge représenté sur la figure 30 permet d'identifier un certain nombre de bandes caractéristiques des groupements fonctionnels de l'huile de tournesol époxydée (HTE) utilisée dans cette étude et que nous avons résumées dans le tableau 18.

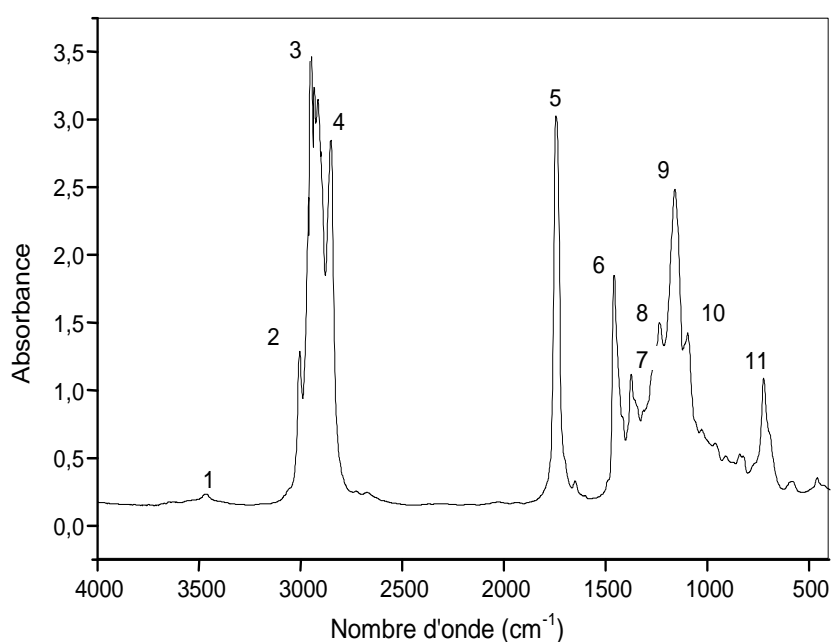
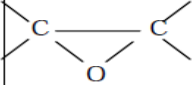
**Figure 30** : Spectre infrarouge de l'huile de tournesol époxydée (HTE).

Tableau 18 : Groupements fonctionnels caractéristiques de l'huile de tournesol époxydée utilisée (Guillen et Cabon, 1997).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Groupement caractéristique
1	3468	- C = O (ester)
2	3008	- CH époxyde, = C - H (Cis)
3	2919	- CH -
4	2855	- CH -
5	1747	C = O (ester)
6	1460	-CH ₂ - (méthylène)
7	1378	- CH ₃ (méthyle)
8	1238	-C - O (époxyde), - CH ₂ -
9	1163	- C - O (ester), - CH ₂ -
10	1101	- C - O
11	726	 , (CH ₂) _n , - HC = CH - (Cis).

Les plastifiants

Les figures 31, 32 et 33 représentent, respectivement, les spectres infrarouges du DOP, du DINA et du DIDA et les tableaux 19, 20 et 21 regroupent leurs principales bandes caractéristiques et leurs attributions d'après la littérature (Hesse, 1997 et Socrates, 2002).

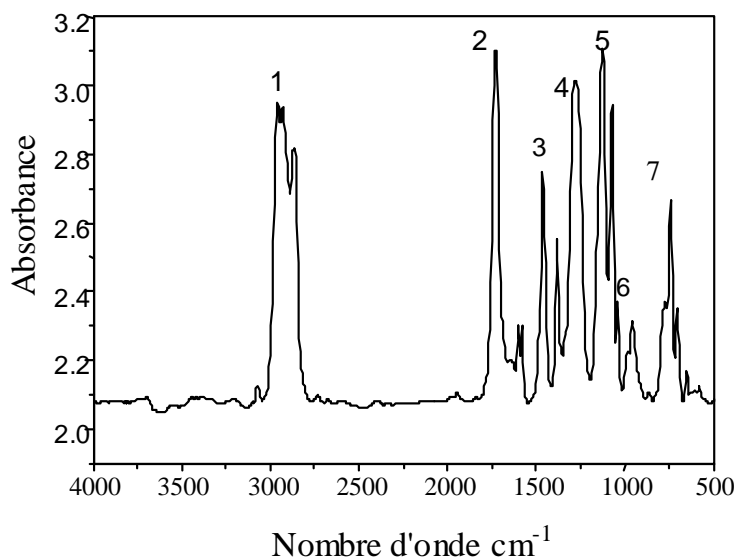


Figure 31 : Spectre infrarouge de di- octyle phthalate (DOP).

Tableau 19 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- octyle phtalate (DOP).

N°	Nombre d'onde (cm^{-1})	Mode de vibration et attribution
1	2937 – 2863	Elongation de C-H
2	1722	COO (ester)
3	1468 – 1384	Déformation –C-H (CH_3 , CH_2)
4	1271	Elongation –C-O
5	1121	Elongation –C-O
6	960	Déformation –CH=CH-
7	742	Déformation $(\text{CH}_2)_n$, $n > 4$

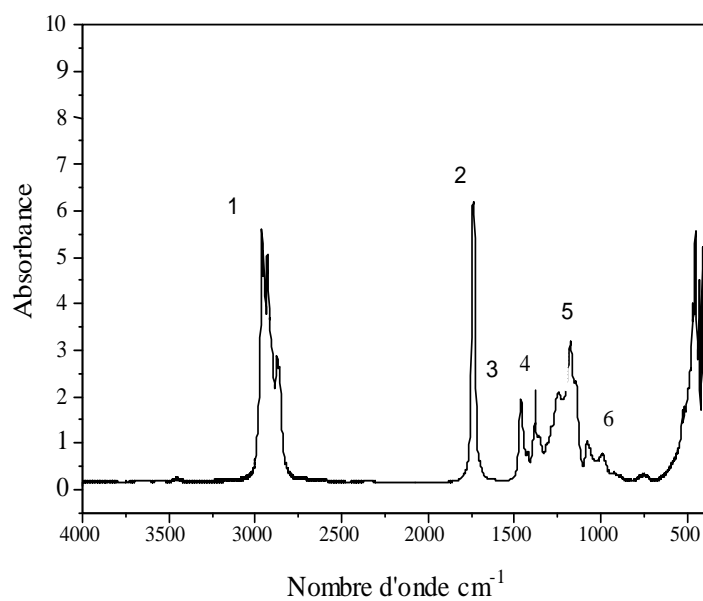
**Figure 32** : Spectre infrarouge de di- iso nonyleadipate (DINA).

Tableau 20 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- iso nonyleadipate (DINA).

N°	Nombre d'onde (cm^{-1})	Mode de vibration et attribution
1	2937 – 2863	Elongation de C-H
2	1722	COO (ester)
3	1468 – 1384	Déformation –C-H (CH_3 , CH_2)
4	1379	- CH_3 (méthylène)
5	1172	-C-O (ester), - CH_2 -
6	989	Déformation des CH_2

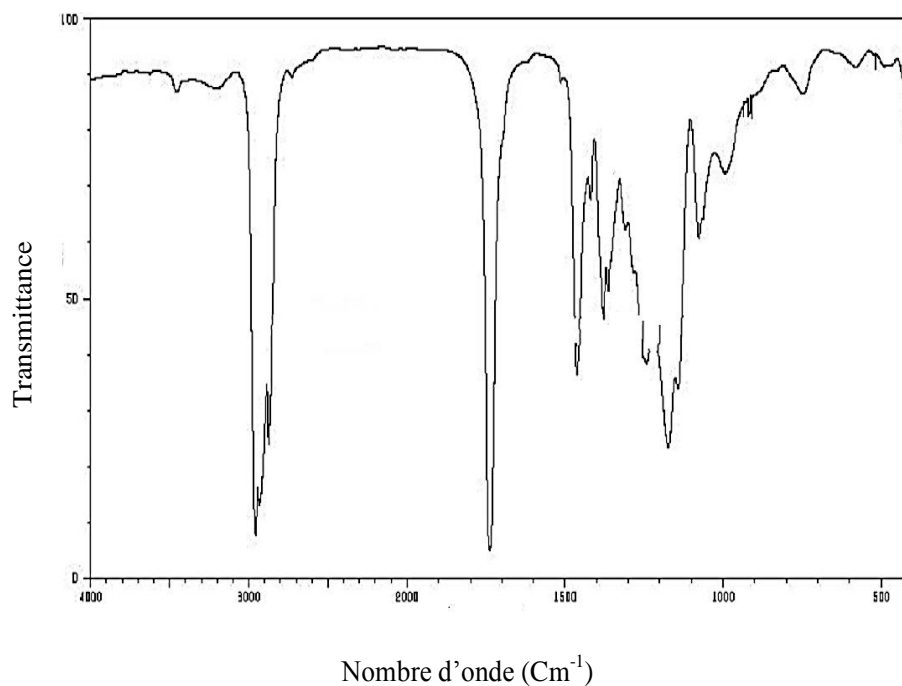


Figure 33 : Spectre infrarouge de di- iso nonyleadipate (DIDA).

Tableau 21 : Groupements fonctionnels caractéristiques du di- iso nonyleadipate (DIDA).

N°	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Mode de vibration et attribution
1	2958 – 2873	Elongation de C-H
2	1736	COO (ester)
3	1462 – 1380	Déformation –C-H (CH ₃ , CH ₂)
4	1365	-CH ₃ (méthylène)
5	1174	--C-O (ester), -CH ₂ -
6	992	Déformation des CH ₂

III-Analyse par spectroscopie infrarouge a transformée de fourie (IRTF)

- Identification des additifs à partir des films de PVC plastifiés

Le tableau 22 regroupe les différentes bandes caractéristiques des additifs présents dans les films de PVC plastifié.

Tableau 22: Bandes caractéristiques des additifs présents dans les films du PVC

N°	Nombre d'onde (cm-1)	Groupement caractéristique	Additifs
1	1728	C=O (ester)	DOP, DINA et DIDA
2	1465	-CH ₂ (méthyle, méthylène)	HTE, complexe de stéarate de Zn et Ca
3	1337	-CH ₂ (méthyle, méthylène)	Complexe de stéarate de Zn et Ca
4	1130	C-O-C	HTE

- L'étude des spectres IRTF des films de PVC après enfouissement a été effectuée dans le but de suivre l'évolution des bandes caractéristiques des additifs présents dans les différentes formulations. Les figures 34,35 et 36 et le tableau 23, représentent les spectres infrarouges des formulations contenant le DINA et l'HTE, DOP et l'HTE et le DIDA et l'HTE avant et après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol. Nous constatons l'apparition d'une nouvelle bande dont le maxima d'absorption se situe à 2363cm^{-1} pour les formulations contenant le DINA + l'HTE et le DIDA+ HTE cette dernière serait due à des structures de type $X = Y = Z$ (X, Y, Z) pouvant représenter des atomes de C, N, O et S). Cette bande serait liée à la biodégradation des plastifiants (Gattin et *al.*, 2001 ; Atek, 2010) et à l'hydrolyse enzymatique (Saadi, 2008).

Afin de détecter les modifications subies par chaque bande, nous avons procédé au calcul des rapports d'absorbances suivants :

- A1728/A1436 ,A1465/A1436, A1337/A1436 et A1130/A1436 (voir le tableau 20). La bande à 1436 cm^{-1} correspond à la liaison CH_2 du PVC et elle est prise comme bande de référence (Krimm et *al.*, 1963).

Tableau 23: Variation des rapports d'absorbances en fonction du temps d'enfouissement du PVC plastifié dans le sol.

	A1728/A1436		A1465/A1436		A1337/A1436		A1130/A1436	
	t = 0 mois	t = 2,5 mois	t = 0 mois	t = 2,5mois	t = 0 mois	t = 2,5mois	t = 0 mois	t = 2,5mois
DINA + HTE	1.284	0.975	0.784	1.015	0.769	1.005	0.800	0.988
DOP + HTE	1.237	0.987	0.837	1.017	0.8	1.008	1.044	1.018
DIDA + HTE	1.238	0.982	0.817	1.014	0.857	1.006	0.976	0.998

Les différents résultats montrent que les rapports d'absorbances ont varié en fonction du temps d'enfouissement dans le sol dans le cas de toutes les formulations, cette variation est due à la biodégradation et/ou à la migration des différents additifs et la formation de nouveaux métabolites. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Lardjane et *al.*,(2013).

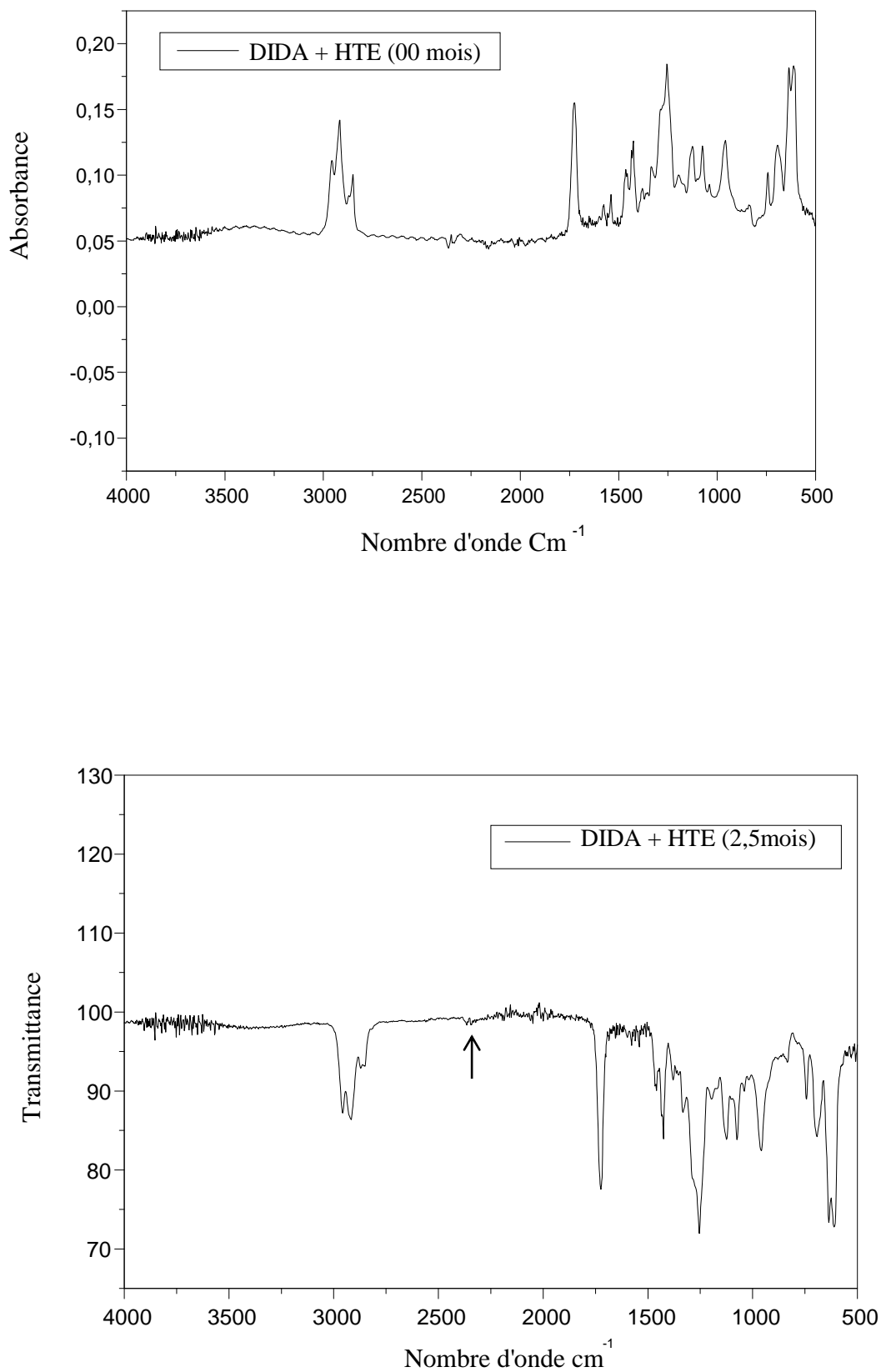


Figure 34: Spectres infra rouges des formulations contenant le DIDA et l' HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.

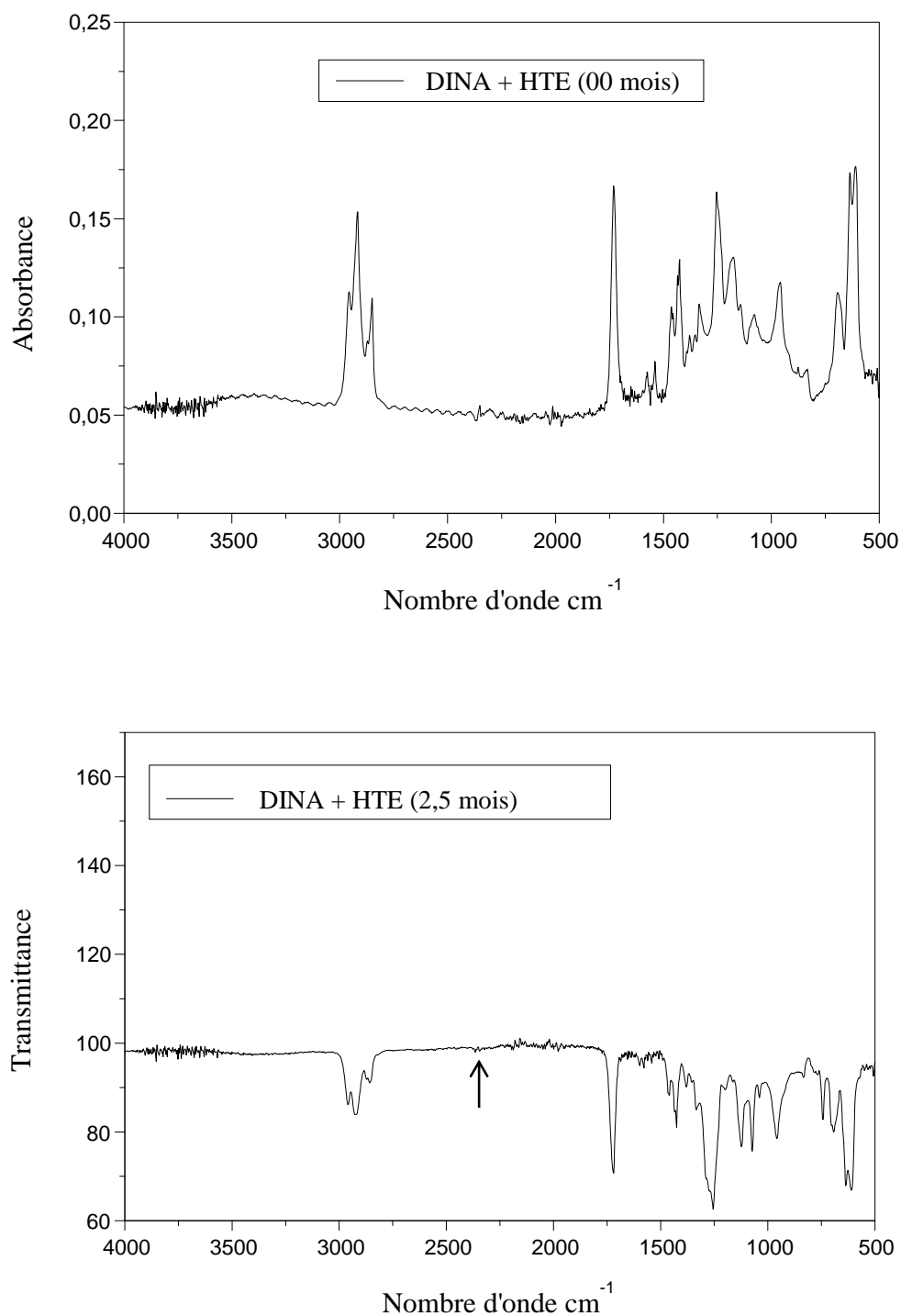


Figure 35: Spectres infra rouges des formulations contenant le DINA et l' HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.

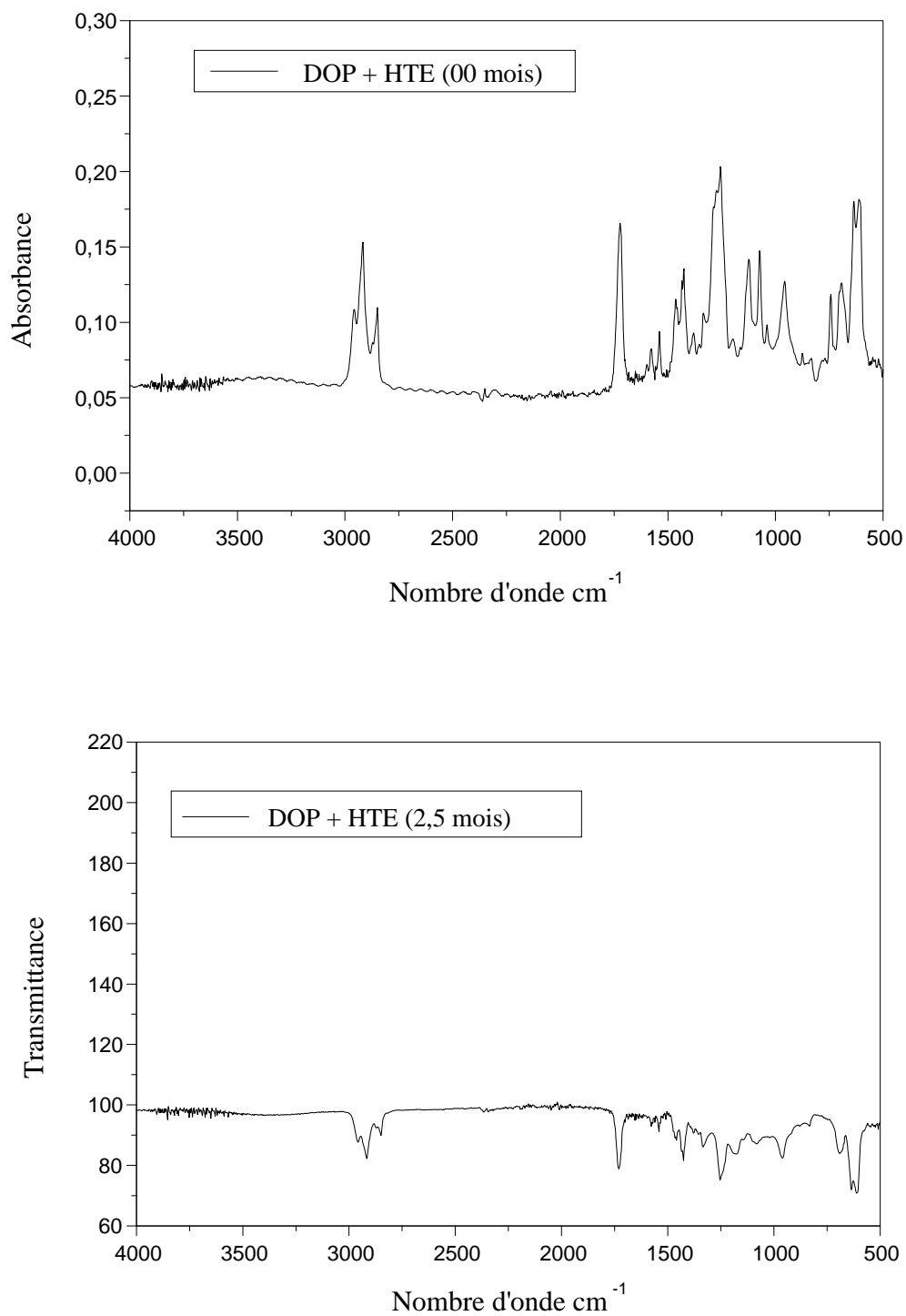


Figure 36: Spectres infra rouges des formulations contenant le DOP et l' HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.

III- Analyse par la microscopie électronique à balayage (MEB)

L'analyse des échantillons prélevés après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol a permis de constater l'apparition de vides dans le cas des échantillons contenant le DINA et le DIDA (figure 37 et 38), ce qui n'est pas le cas pour les échantillons contenant le DOP (fig.39). Ces analyses permettent de confirmer que la biodégradation des échantillons contenant le DIDA et le DINA est plus importante en comparaison à celle des échantillons contenant le DOP, cette différence est liée à la structure chimique des plastifiants. En effet, le DINA et le DIDA possèdent une structure linéaire, en revanche le DOP possède un noyau aromatique donc il est plus résistant (Lardjane et Belhaneche- Bensemra, 2017).

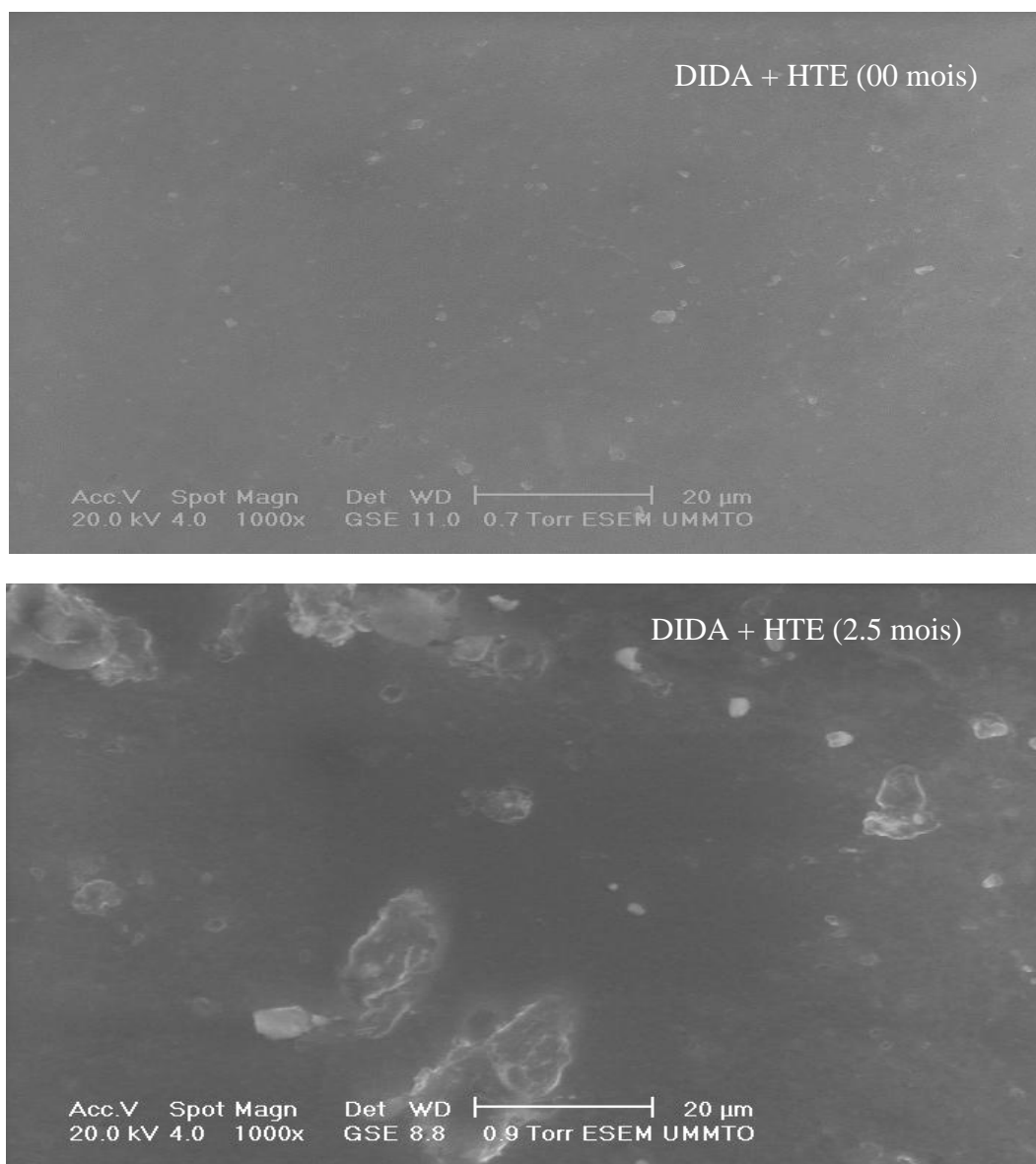


Figure 37: Images MEB des échantillons de PVC contenant le DIDA et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.

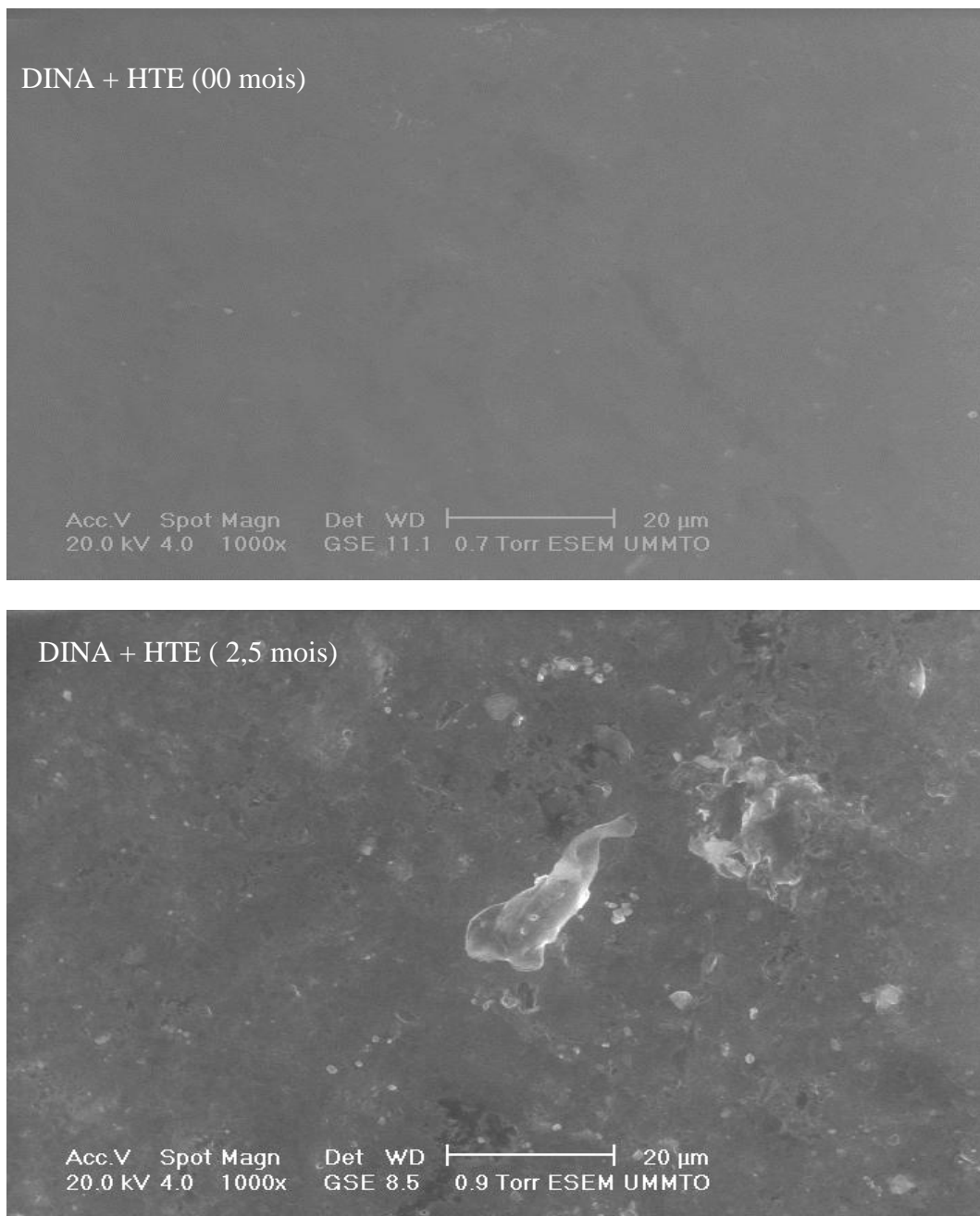


Figure 38: Images MEB des échantillons de PVC contenant le DIN et l’HTE après deux mois et demi d’enfouissement dans le sol.

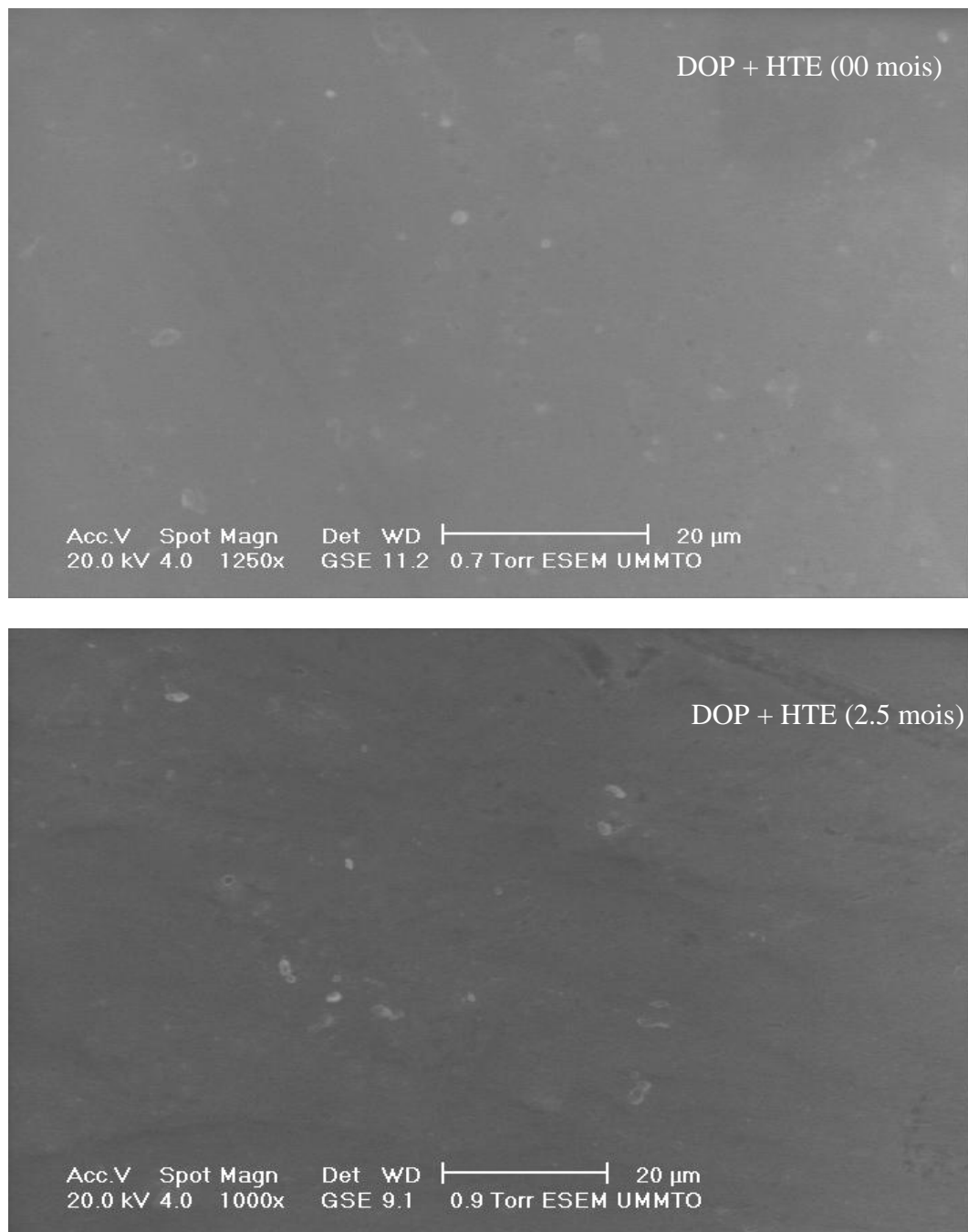


Figure 39: Images MEB des échantillons de PVC contenant le DOP et l'HTE après deux mois et demi d'enfouissement dans le sol.

Ce travail porte sur l'étude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC) dans le sol. Trois plastifiants ont été utilisés : le octylephtalates(DOP), le Di-iso nonyleadipate (DINA) et le di-iso decyleadipate (DIDA).L'huile de tournesol epoxydée a été utilisée comme stabilisant thermique pour les trois formulations.

L'enfouissement des éprouvettesdes nouvelles formulations dans le sol pour une durée de deux mois et demi a permis d'obtenir les résultats suivants :

- Le suivi d'humidité en fonction du temps d'enfouissement des éprouvettes de PVC a montré une variation légère pour les trois formulationsconcéder notamment une augmentation légère pour le sol contenant la formulation (DIDA30%) ;
- L'évolution du pH du sol montre une augmentation progressive pour les trois formulations, considéré le pHdu sol contenant DIDA est légèrementsupérieur par rapport aux autres sols contenant le DOP et le DINA ;
- Les résultats de la matière organique montre que les sols des trois formulations sont faible en matière organique ;
- L'analyse granulométriquedétermine que la texture de nos sols es sablo-limoneux ;
- Les variationsde masse a diminué pour les trois formulations pendant les deux mois et demi d'enfouissement. Ladiminutionest plus importante pour la formulation contenant le DIDA, ce qui montre le phénomène de migration et/ou biodégradation des additifs.
- L'analyse des paramètresbactériologiques nous a permis de déduire la présence d'une activité bactérienne importante dans le sol, nous remarquons une légère augmentation dans la croissance bactérienne pour le sol contenant la formulation DIDA 30% par rapport aux autres formulations. A partir de l'observation macro-microscopique nous avons pu identifier la présence de trois souches bactériennes à savoir : *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, et *Bacillus*.
- L'analyse infrarouge a confirmé la biodégradation et/ ou migration des additifs et la formation de nouveaux métabolites par l'apparition d'une nouvelle bande localisée à 2368 cm^{-1} ;
- Le MEB a révélé une modification morphologique importante dans le cas des échantillons contenant le DIDA et le DIDA.

Ainsi, et par rapport aux objectifs visés par ce travail nous pouvons conclure que le PVC stabilisé à l'HTE a présenté un bon comportement en présence de DINA et DIDA.

Enfin, pour approfondir ce présent travail nous suggérons :

- De faire une étude sur la toxicité du DINA et le DIDA en combinaisons avec l'HTE,
- D'identifier les métabolites issus de la biodégradation des additifs étudiés,
- D'utiliser d'autres techniques analytiques telles que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CGMS).

Références bibliographiques

ACHAB.K, BOUKAIS.L, 2016 : contribution à l'étude de la dégradation de polluants par certaines souches bactériennes. Mémoire de Master université Mouloud Mammeri de TiziOuzou. 52p.

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

ANONNYME, 1988:THECHNICAL LEAFLET, “ Plastmoll DINA” , M 5913 Tunisie.

ANONYME, 1998: Thechnical Leaflet, <<Plastomoll DINA>>, M 5913 Tunisie.

ANONYME,2002 : Fiche Technique. <<Shintech PVC resin grade SE1200>>, USA.

ANONYME,2003 : Fiche Technique, <<Plastimed DOP>>,Tunisie.

ANONNYME, 2004 :Glossaire des matériaux composites. Centre D'animation Régional en Matériaux Avances. 32p.

ANONYME, COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, 2000 : livre vert, Problèmes environnementaux du PVC, Bruxelles, le 26.7.2000 COM 469 final 38p.

ANONNYME , 2010 : Comment produire propre.Mag.INERIS, n°24,pct,5-15p.

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

ATEK.D, 2010 :<< étude de la migration spécifique et de la toxicité de l'huile de tournesol Epoxydée>>, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.

AUBERT, 1982 :Métaux lourds en Mediterranée, II. Campagnes océanographiques du C.E.R.B.O.M /1979-1982/ M.AUBERT,171p.

AUBRY.C ,2013 : dépôt de polluants sur les espaces agricoles à proximité des voies de transport en Île-de-France, la revue électronique en science de l'environnement, 56p.

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

BAIZE.M, JABIOL.B, 1995 : Guide pour la description des sols. Edition I.N.R.A, Paris, 375p.

BAIZE.D , 2000 :Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} Ed. Technique et pratique INRA Edition. Paris. 412p.

Références bibliographiques

BATCHELOR.J, EDENBAUM.J, 2003: « plastics additives and modifiers » Edited by Van Nostrand Reinhold, New York, 11-13pp.

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

BELHANACHE-BENSEMRA.N 2006 : Influence of polluted atmospheres on the natural aging of poly (vinyl chloride) stabilized whitened sunflower oil. Journal of Applied Polymers Science. V: 110,1973-1978pp.

BINDELLE J, 2002 : compte rendu des journées de réflexion sur le recyclage des matières plastique dans les projets de développement ; www.habiter-autrement.org/docpdf.

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

BOST.J, 1996 : matière plastique, Tome I, chimie application 75384, 2^{ème} édition, Paris, 456p.

BRIASSOULIS.D, HISKAKI.M, BABOU.E, 2013 : Technical Specifications mechanical recycling of agricultural plastic. Waste Manage ; 33p ; 1516 ; 1530.

BROSCHUERE, 2013: Maagtechnic AG, Kunststoffzentrum, Schneckelerstrasse 9, CH-4414 Fullinsdorf. Master of Engineering, Applied Computational Mechanics, 6 p.

CALVET R, 2013 : Le sol. Tome 2, Edition France Agricole, 678 p.

CARREGA M et COLL, 2007 : matériaux polymères .Edit 2, DUNOD, Paris 641p.

CHOUIREF.C, 2004 : « Etude de la biodégradabilité de l'huile de tournesol époxydée » Mémoire du projet de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique. Alger, 62-65p.

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, 2000 : Livre vert, Problèmes environnementaux du PVC, Bruxelles, 43p.

DARMENDRAIL D, CONIL P, 2001 : Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau. BRGM/RP-50662-FR.103p.

DAVIS J.W et MADSEN S, 1996: Factors affecting the biodegradation of toluene in soil .chemosphere, 1 (33): 107-130 p.

Références bibliographiques

DELARRAS.C, 2007 : Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire. Techniques et Documentation. Lavoisier, Paris,476p.

DEOUX.S, 1993: « l'écologie c'est la santé », éd. Frison-Roche,Paris,539p.

DOMINKOVICS.Z, DANYADIL, PUKANSZKY.B, 2007: surface modification of flower and its effect on the properties of PP/wood, composites: Part A,38,1893-2230.

DONG Y, 2013 : vieillissement des cordes d'assurance utilisées dans les équipements de protection contre les chutes de hauteur. Université du Québec. 92 p.

DUCHAUFOR, 1994 : Pédologie : sol, végétation, environnement. Edition MASSON Paris.324p.

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

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

FRANK ACKERMAN, RACHEL MASSEY, 1993 : Global development and environment institute.Université Tufts.Medford, MA02155. 31P.

GABET. S, 2004 : Remobilisation d'hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés a l'aide d'un tensioactif d'origine biologique. Thèse de doctorat de l'université de Limoges, spécialité Chimie et Microbiologie de l'Eau, 177p.

GATTIN.R,POULET.C,COPINET.A,COUTURIER.Y,2001:<<comparisonof mineralization of starch in liquid, inert solid and compost media according to ASTM and CEN norms for the composting of packaging materials>>, Biotech.lett, 22: 1471-1475pp.

GHETTAS.M, 2013 :Influence D'huile De Tournesol Epoxyde Comme Co-Plastifiant Sur La Stabilité Thermique Du Pvc. Mémoire de Master. Université KasdiMerbah Ouargla. 32p.

GOBAT J.M, ARAGNO M, MATTHEYW, 2010 : le sol vivant. Base de pédologie-biologie des sols.3^{ème} édition presses polytechniques et universitaires romandes, 820p.

GUILLEN.M.D, CABO.N, 1997: << Infrared spectroscopy in the study of edible oils and fats>>, J. Sci. Food agric., 5122 -5142.

HAMMAMI.T, LOUATI .H, 2017 :Introduction et généralités sur les matières plastiques. Cours de PMF des matières plastiques .Licence en GM. 2, 9,11p.

Références bibliographiques

HAOUCHE.S, 2018 : Evaluation de la pollution automobile en milieu urbain par la quantification de certains métaux lourds sur trois espèces végétales (*Fraxinus excelsior*, *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*), Mémoire Biodiversité et environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 55p.

HESSE.M,MEIER.H, ZEEH.B ,1997 : << Méthodes spectroscopiques pour la chimie organique>>, Masson, Paris,417p.

IUPAC, 1997: « biopolymers », compendium of chemical terminology « Gold Book », version corrigée en ligne (2006) 2^eéd,465p.

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

JOFFIN,J.N et LEYRAL.G,2006 :Microbiologie technique.Tom I. Dictionnaire des techniques .Bordeaux,France : Centre Régional De Documentation Pédagogique,368p.

KACI.M, BOUKERROU.A, ZAIDL , 2007: Effets of wood filler treatment and EBGMA compatibilizer on morphology and mechanical properties of low density polyethylene/olive husk flour composite, *Express Polymer Letter*, 467-473p.

KOLLER.E,2004 :Traitement des pollutions industrielles (eau, air,déchets,sols,boues)Edition DUNOD, Paris.424p.

KRAWCZAK P, VILLOUTREIX G, AGASSANT JF, BINETRUY C, LACRAMPE MF, 2003 :Plastiques et composites - Avant-propos *Techniques de l'Ingénieur*, AM15, 4 p.

KRIMM.S, FOLT.V.L, SHIPMAN.J.J, BERENS.A.R, 1963: << Infrared spectroscopy and assignment for polyvinyl chloride and deuterated analogs>>, *J. Polym.Sci: Part A*, Vol:1, 12621-2650 pp.

KRIMM.S, FLOT.V.L, SHIPMAN.J.J, BERENS.A.R, 1997: << Infrared spectroscopy and assignment for polyvinyl chloride and deuterated analogs>>, *J. Polym. Sci: Part A*, Vol 12621-2650pp.

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

LAOUFLI.N , 2018 : Electron acceptors effect on photocatalytic degradation of metformin under sunlight irradiation *Solar energy*,<http://doi.org/10.1016/j.solener. vol164 ,267-275pp>.

Références bibliographiques

LARDJANE.N, BELHACHENE-BENSEMRA.N et MASSARDIER .V, 2013 : Soil Burial Degradation of New Bio-Based Additives.Part II Plasticized Poly (Vinyl Chloride) Films. Journal of Vinyl & Additives Technology.V : 19, 183-191pp.

LARDJANE.N et N., BELHANECHÉ-BENSEMRA.N, 2017:<< Soil Burial Degradation of New Bio-Based Additive Plasticized Poly (Vinyl Chloride) Films and the Biodegradation of Di Octyl Phthalate and Di IsononylAdipate Plasticizers>> Landfills: Environmental Impacts, Assessment and Management,ISBN: 978-1-53612-556-6, NOVA Science Publishers, New York, USA.

LARPENT.J-P, LARPEND-GOURGAUD, 1970: Microbiologie pratique, volume 1,Edition Herman,Paris, 203p.

LEAHY, J.G and COLWELL, R.R, 1990: Microbial degradation of hydrocarbons in the environnement.Microbiological Reviews, 305-315p.

LEMIERE.B, SEGUIN J.J, Le GUERN C, GUYONNET D, BARANGER Ph,KOLLER, 2004 : Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchets, sol, boues) .Edition DUNOD, Paris, 424p.

LOUDE DUVALE, 2004 : Matières plastiques et environnement, recyclage, valorisation, biodégradabilité, écoconception. Dunod, Paris, 35,45 p.

MAHARBLA, 2014: Etude du comportement des films polymériques à base de polystyrène et des mélanges (PVC/PS), Université Med Khider Biskra, Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, 2,9p.

MAM ADOU COULIBALY, 2008 : modélisation micromécanique et caractérisation expérimentale du comportement des matériaux hétérogènes élastoviscoplastiquesthèse de doctorat, Application à la valorisation des polymères recyclés.Université Paul Verlaine de Metz , 9,231p.

MARCHAL.N et BOURDON.J.L, 1982 : Les milieux de cultures pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. Ed Doin, Paris,482p.

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

MERCIER.J.P, 1983: « polymérisation des monomères vinyliques », Press. Polytechnique, Romandes,Edition Lausanne, 149-155p.

Références bibliographiques

MERCIER J-P, MARECHAL E, 1996 : Chimie des polymères. Synthèse, réactions, dégradations. Presses polytechniques et universitaires romandes, 466 p.

MESSAL.S, 2015 : Des objets et des déchets loin d'être en reste, un article dans Géographie et Cultures, Géographie des objets,91-92p.

ODIAN. G, 1994 : «Principles of polymerization», Polytechnica, Paris, 823p.

RUST.M.J, 2006 : Sub-diffraction-limit imaging by stochastic optical reconstruction microscopy(STORM),Nature publishing <http://www.nature.com>.Vol 3,793-795p.

POHLAND.F, 1991 :«Fundamental principles, management strategies for landfill codisposalpractices. In Christensen TH, cossu R, editors.Third International Landfill “,Sym.Imo,Gra.Gal, 2: 1145-60p.

REMI GUILLET.M, 2001 : Conseiller scientifique, responsabilité et environnement, édition 63 - Mairie de Paris,109-112p.

MESSAL.R,2015 : Recyclage des déchets plastique dans la gestion des déchets en Afrique et dans les Caraïbes 1, 2 p.

SAADI.Z,2008 : <<Etude de la dégradation fongique des polymères : cinétique de dégradation des polymères et caractérisation des sous-produits de dégradation –Etude de l'écotoxicité de ces polymères>>, Thèse de doctorat, Laboratoire de Chimie Organique et Macromoléculaire, CNRS, France,211p.

SAHED.S, 2018 : contribution à l'étude de caractéristiques chimiques du sol sous pistachier de l'Atlas (*Pistaciaatlantica*) de Dayatsaadi (HassiDelaà , Laghouat). Mémoire de Master université Mouloud Mammeri de TiziOuzou. 34p.

SAX.NI, LEWIS .RJ, 2007: Hawley's Condensed chemical dictionary. Wiley 15^e édition, 1383 p.

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

SMAIL .K, BABOU.S, 2015 : évaluation de « la filière » de recyclage du plastique déchet et proposition de piste d'amélioration pour une gestion durable-cas de l'entreprise « Bellounis » 3de Oued –Aissi. 17 p.

Références bibliographiques

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, Livre sur Google Play 203p.

SOCRATES.G, 2002: << Infrared characteristic group frequencies>>, John Wiley and Sons. New York,385p.

SOLTNER.D, 1996 : Tom I le sol et son amélioration , les bases de la production végétale 26^eédition, 472p.

STEPHEN, 1996 : « The making of a synthetic century, harpercollins »,New York capturé par memo Web <http://www.sfc.fr/données/master/plast/texplst.htm>.

STMONS.T, POCOCK.G,1987 : « Lead enters bovin adrenal medullary cells throughtCalciumchannels». J.Neuro.Chem,48: 383-389pp.

VIALA.A et BOTTA.A, 2005 : Toxicologie. 2^{ème}édition. Lavoisier,pour la voie d'exposition, Paris , 1122p.

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude du comportement de nouvelles formulations à base du polychlorure de vinyle (PVC) dans le sol.

Des éprouvettes rectangulaires de différents additifs contenant le di-octyle phthalate (DOP), le di-iso nonyle adipate (DINA), le di-iso decyle adipate (DIDA) et l'huile de tournesol époxydé (HTE) ont été enfouies dans le sol pendant deux mois et demi, des prélèvements ont été effectués chaque 15 jours, afin d'étudier les paramètres physico-chimiques et bactériologiques et suivre le comportement morphologique et structurel de ces formulations.

Les résultats ont montré que la nature du plastifiant a une influence directe sur le phénomène de migration et la biodégradation.

Mots clés : Huile de tournesol époxydé (HTE), di-octyle phthalate (DOP), di-isononyl adipate (DINA), di-iso decyle adipate (DIDA).

Abstract

The aim of this work is the study of the behavior of new formulations based on polyvinyl chloride (PVC) in the soil.

Rectangular specimens containing di-octyl phthalate (DOP), di-isononyl adipate (DINA), di-isodecyl adipate (DIDA) and epoxidized sunflower oil (ESO) were buried in the soil for 2,5 months, samples were taken each 15 days. The variations of physico-chemical and bacteriological parameters were considered. The structure modifications of the polymer were followed by spectroscopy FTIR, The morphological changes were followed by scanning electron microscopy (SEM).

Results showed that the nature of the plasticizer and heat stabilizer effect the properties of PVC and the phenomenon of migration and biodegradation.

Keywords: epoxidized sunflower oil (ESO), di-octyle phthalate (DOP), di-iso nonyle adipate (DINA), di-iso decyle adipate (DIDA).