



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire N série:.....e
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة الشهيد حمي لخضر الوادي
Université Echahid Hamma Lakdhar-EL-Oued
كلية العلوم الطبيعية والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية
Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques
Spécialité : Toxicologie fondamentale et appliquée

THEME

Contribution à l'étude de l'effet de l'interaction des emballages
plastiques (polypropylène, polyéthylène Haute densité) sur quelques
paramètres physicochimiques de l'eau conservée en eux

Présentés Par :

Melle : BOUSBAI Achouak

Melle : MERRAKCHI Raihana

Devant le jury composé de :

Président : M^{lle}. OTMANI Hadjer

Examineurs : M^{lle}. LOUAFI Hayet

Promoteur : M^{lle}. GUEMMOUDA . M

MCB. Université d'El Oued.

MAA. Université d'El Oued.

MCB. Université d'El Oued.

Remerciements

A ce stade de notre vie estudiantine, et à l'occasion de la présentation de notre mémoire de Master, nous a fait l'honneur et le devoir d'exprimer nos louanges absolues à ALLAH, notre créateur généreux et omnipotent, tout puissant, de nous avoir donnés la santé, le courage et la patience nécessaires pour dépasser toutes les difficultés.

Nous exprimons notre profonds remerciements à Dr. GUEMMOUDA Messaouda, pour avoir acceptée de nos encadrer ce mémoire dans le cadre d'un axe de recherche, pour sa présence et disponibilité permanente, et sa compréhension, patience, et sa compétence, pour ses conseils et son soutien et pour l'aide que elle a apporté et pour l'intérêt constant que elle n'a cessé d'accorder pour l'orientation de ce travail.

Nous tenons à transmettre nos vifs remerciements à président de juryet membre examinateur..... pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant toutes leurs critiques constructives et d'évaluer notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université d'El-oued et l'équipe de laboratoire Expro Analytical Data Services de Hassi Messaoud .

Enfin, nous présentons nos chaleureux remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour réaliser ce modeste travail. Merci à tous.....

Dédicaces

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie
et mon bonheur maman que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et
de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père. mes
frère et sœurs: Zineb et Sabrinal; Mohammed, Belkacem; Mohammed Mahdi et A
mes grands-parents.*

*Mes oncles et tantes et toute la famille. Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs
revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.*

*A tous mes enseignants et professeurs, Du primaire, passant par le collège, le lycée et
enfin la faculté de Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université d'El-oued*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes
côtés Chemala Abdellatif et mes amis qui m'ont accompagné durant mon chemin
d'études supérieures Asma , Halima, Imane, Omaïma et tous mes collègues d'étude
, et frères de coeur.*

A toute la promotion de MASTER 2020

A toute la famille «BOUSBAL» «Ce Mémoire à vous tous»

BOUSBAL Achouak

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance...

A mon cher héros. Mon père pour leurs encouragements permanents, soutien moral, et leur sacrifice dans toute ma vie

À la meilleure mère Qu'elle trouve en moi la source de sa fierté...

A qui je dois tout.

A mes frères et ma sœur et Mon âme sœur MANAR qui me soutient toujours

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire...

A mes très chère compagnons ASMA, DONAIZAD, HALIMA, OMAIMA, NOUSSA, REKAYA, et Bien sûr ma binôme : ACHOUAK pour tous les efforts qu'elle on fournit pour ce travail...

A toute la promotion de MASTER TOXIOLOGIE 2020

Je dédie ce travail pour tous qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

RAIHANA MERRAKCHI

Résumé

Avec l'évolution de production des matériaux d'emballage plastique des denrées alimentaires dans le monde pour but de conservé les aliments en bonne condition, le risque de ces emballages sur la santé est encore augmenté à cause d'utilisation quotidienne de l'emballage plastique. Cette étude a été réalisée pour but de montrer les habitudes, l'utilisation excessive, et les types d'emballages plastiques les plus utilisés par une enquête réalisée sur 35 familles dans les deux régions de Djamâa et Tendla. Puis on a réalisé des analyses physicochimiques d'un échantillon d'eau conservé dans les types d'emballages les plus fréquents (Polypropylène et Polyéthylène Haute Densité) dans les résultats d'enquête pour montrer et estimer les changements et les modifications physicochimiques dus à leurs interactions avec la matière plastique. les résultats de questionnaire montrent qu'il y a 20 familles utilisent le PEHD avec un pourcentage de 54,1% de réponses, et 26 familles utilisent le PP avec un pourcentage de 74,3% de réponses avec des réponses communs, ces familles utilisent ce type d'emballages pour conserver l'eau de robinet, et les produits alimentaires, la totalité des familles questionnées utilisent des emballages spécifiques pour les denrées alimentaires, bien que 10 de ces familles utilisent des emballages spécifique pour conservés les produits chimiques, la plupart des familles étudiées utilisent les récipients en plastique pour une long durée, juste 2 familles en l'utilisent pendant 1 mois. Nos résultats des paramètres physico-chimiques montrent une diminution de la ,valeur de pH de l'eau conservés dans les deux types d'emballages 7,80 pour PEHD et 7,56 pour PP par apport au témoin qui est de 7,90, une augmentation de la conductivité et la salinité qui sont respectivement dans l'emballage PEHD de 2530µs/cm, et 585 mg/l, de 2510µs/cm et 555mg/l dans l'emballage PP, et sont de 2470µs/cm et 503mg/l dans le témoin. Nos résultats des dosages des éléments métalliques montrent une augmentation de tous les éléments étudiés; le Cadmium est de 0,006 mg/l, dans les deux emballage et de 0,004mg/l dans le témoin, le Cuivre est de 1,5 mg/l, 1,3mg/l et 1mg/l respectivement dans le PEHD, PP et le témoin (avec 1 mg/l), de même que la concentration du Plomb est de 0,14mg/l dans l'PEHD, 0,12mg/l dans PP avec un témoin de 0,8mg/l, le Nickel enregistre une valeur de 0,06mg/l dans l'PEHD, 0,05mg/l dans l'PP, et égale 0,03mg/l dans le témoin, concernant le Chrome les résultats obtenus sont de 1,5 dans l'emballage PEHD, 1,3mg/l dans l'emballage PP et de 1mg/l dans le témoin, de même que le fer dans l'emballage PEHD égale 0,082mg/l, dans l'emballage PP égale 0,073mg/l, qui sont supérieurs à la valeur trouvée dans le témoin (0,067 mg/l), et le fluore se trouve avec une concentration de 1,5mg/l dans l'emballage PEHD, et de 1,6mg/l dans l'emballage PP et de 1,4mg/l dans l'échantillon témoin. Le test de corrélation de Pearson réalisé par le SPSS indique qu'il existe une relation et une influence de certaines caractéristiques physico-chimiques de l'eau sur l'interaction des emballages plastiques utilisés. Où la diminution de pH provoque la libération de ces éléments métalliques de l'emballage vers l'eau. Par contre la Conductivité électrique et la salinité plus ils sont augmentés plus le Cu, Ni, et Pb s'infiltreront dans l'eau.

Mots clé : Emballage plastique, Polypropylène, Polyéthylène Haute Densité, paramètres physicochimiques, Eléments métalliques.

المخلص

مع تطور إنتاج مواد تغليف المواد الغذائية البلاستيكية في جميع أنحاء العالم بهدف الحفاظ على الطعام في حالة جيدة ، يزداد خطر هذه العبوات على الصحة بسبب الاستخدام اليومي للعبوات البلاستيكية . أجريت هذه الدراسة لبيان العادات والاستخدام المفرط وأنواع العبوات البلاستيكية الأكثر استخداماً من خلال دراسة استقصائية أجريت على 35 أسرة في منطقتي جامع وتندلا . ثم أجرينا التحليلات الفيزيائية والكيميائية لعينة من المياه المخزنة في أكثر أنواع العبوات شيوعاً (البولي بروبيلين والبولي إيثيلين عالي الكثافة) في نتائج المسح لإظهار وتقدير التغيرات والتعدلات الفيزيائية والكيميائية الناتجة عنهم. التفاعلات مع البلاستيك. تظهر نتائج الاستبيان أن هناك 20 عائلة تستخدم HDPE بنسبة 54.1% من الردود ، و 26 عائلة تستخدم PP بنسبة 74.3% من الردود ذات الردود الشائعة ، تستخدم هذه العائلات هذا النوع من العبوات لتخزين مياه الصنبور ، والمنتجات الغذائية ، كل العائلات التي تم سؤالها تستخدم عبوات خاصة للمواد الغذائية ، على الرغم من أن 10 من هذه العائلات تستخدم عبوات خاصة لحفظ المواد الكيميائية ، معظمهم من العائلات التي تمت دراستها تستخدم الحاويات البلاستيكية لفترة طويلة ، فقط عائلتان تستخدمهما لمدة شهر واحد. تظهر نتائجنا للمعاملات الفيزيائية والكيميائية انخفاضاً في قيمة الرقم الهيدروجيني للمياه المخزنة في نوعي التعبئة 7.80 لـ HDPE و 7.56 لـ PP بالإضافة إلى التحكم وهو 7.90 ، زيادة في الموصلية والملوحة في عبوات HDPE بمقدار 2530 ميكرو ثانية / سم ، و 585 مجم / لتر ، بمقدار 2510 ميكرو ثانية / سم و 555 مجم / لتر في عبوات PP ، وهي 2470 ميكرو ثانية / سم و 503 مجم / لتر لـ في الشاهد. تظهر نتائج فحوصاتنا للعناصر المعدنية زيادة في جميع العناصر المدروسة ، الكاديوم هو 0.006 مجم / لتر في كلتا العبوة و 0.004 مجم / لتر في المجموعة الضابطة ، والنحاس 1.5 مجم / لتر و 1.3 مجم / لتر و 1 مجم / لتر على التوالي في HDPE و PP و عنصر التحكم (مع 1 مجم / لتر) ، تماماً مثل تركيز الرصاص 0.14 مجم / لتر في HDPE ، 0.12 مجم / لتر في PP مع تحكم قدره 0.8 مجم / لتر ، يسجل النيكل أ قيمة 0.06 مجم / لتر في HDPE ، 0.05 مجم / لتر في PP ، وتساوي 0.03 مجم / لتر في عنصر التحكم ، فيما يتعلق بالكروم ، النتائج التي تم الحصول عليها هي 1.5 في عبوة HDPE ، 1.3 ملجم / لتر في عبوة PP و 1 ملجم / لتر في التحكم ، وكذلك الحديد في عبوة HDPE يساوي 0.082 ملجم / لتر ، في عبوة PP يساوي 0.073 ملجم / لتر ، وهي أكبر من القيمة الموجودة في عنصر التحكم (0.067 ملجم / لتر) ، وتم العثور على الفلور بتركيز 1.5 مجم / لتر في عبوة HDPE ، و 1.6 مجم / لتر في عبوة PP و 1.4 مجم / لتر في عينة التحكم. يشير اختبار ارتباط بيرسون الذي تم إجراؤه بواسطة SPSS إلى وجود علاقة وتأثير لبعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء على تفاعل العبوة البلاستيكية المستخدمة. حيث يتسبب انخفاض الأس الهيدروجيني في إطلاق هذه العناصر المعدنية من العبوة إلى الماء. من ناحية أخرى ، كلما زادت الموصلية الكهربائية والملوحة ، زاد تسلسل النحاس والنيكل والرصاص إلى الماء.

الكلمات المفتاحية: العبوات البلاستيكية ، البولي بروبيلين ، البولي إيثيلين عالي الكثافة ، الخواص الفيزيائية والكيميائية ، العناصر المعدنية

Table des matières

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Partie théorique

Chapitre I: Emballages plastiques

Introduction	01
1. Définition.....	01
2. Constitution de la matière plastique.....	01
2.1. Polymères	02
2.1.1. Caractéristiques des polymères.....	02
2.1.2. Classification des polymères.....	02
2.2. Types de plastique.....	03
2.3. Réactifs et produits de polymérisation.....	04
2.4. Additifs dans les plastiques.....	04
2.4. 1. Stabilisants.....	05
2.4.2. Antioxydants.....	05
2.4.3. Anti lumières plus précisément les anti-U.....	05
2.5. Adjuvants technologiques.....	06
2.5.1. Modificateurs de propriétés mécaniques.....	06
2.5.2. Additifs de mise en œuvre.....	06
2.5.3. Modificateurs des propriétés de la surface du polymère	07
2.5.4. Autres adjuvants.....	07
2.6. Principales classes de colorants.....	09
3. Famille de plastique et leur usage.....	11
3.1. Polychlorure de vinyle	11
3.2. Polyéthylène téréphtalate (PET)	12
3.3. Polystyrène	12
3.4. Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires.....	12
3.4.1. Polyéthylène PE.....	13

3.4.2. Polypropylène PP	15
4. Interactions contenant/contenu	18
4.1. Différents phénomènes d'interaction	18
4.1.1. Perméation.....	18
4.1.2. Sorption	18
4.1.3. Migration.....	19
4.2. Conséquences des transferts de masse	24
4.2.1. Conséquences sur les produits emballés	24
4.2.2. Conséquences sur les matériaux polymères	24

Chapitre II: Effet des plastiques

1. Toxicité et dégradation de la matière plastique.....	27
1.1. Impacts environnementaux.....	27
1.1.1. Effet sur le sol et les végétaux.....	27
1.1.2. Effet sur l'air.....	27
1.1.3. Effet sur la santé humaine	28
1.2. Dégradation des plastiques dans l'environnement.....	29
1.2.1. Photo-dégradation.....	30
1.2.2. Dégradation thermo-oxydative.....	30
1.2.3. Biodégradation.....	30
1.2.4. Dégradation par hydrolyse.....	31
2. Recyclage de plastique	31
2.1. Déchets plastiques.....	31
2.1.1. Classement des déchets plastiques.....	31
2.1.1.1. Déchets avant utilisation industriels	31
2.1.1.2. Déchets après utilisation ménagers	32
2.2. Valorisation des matières plastiques.....	32

Partie pratique

Chapitre I: Matériels et Méthodes

1. Préparation d'enquête	42
2. Présentation d'emballage et l'échantillon utilisé.....	42
3. Analyses physicochimiques.....	42
3.1. pH	43
3.2. Conductivité.....	44

3.3. Salinité.....	44
4. Dosage des éléments métalliques	45
4.1. Principe de la spectrophotométrie UV-visible.....	45
4.2. Méthodes de dosage.....	46
4.2.1. Dosage du Cadmium.....	46
4.2.2. Dosage du plomb (Pb).....	47
4.2.3. Titane.....	48
4.2.4. Cobalt.....	48
4.2.5. Nickel.....	48
4.2.6. Dosage du fer.....	51
4.2.7. Dosage du Cuivre.....	52
4.2.8. Dosage du Chrome.....	53
4.2.9. Dosage de fluorure.....	54
5. Analyse statistique et présentation de l'SPSS.....	55

Chapitre II: Résultat et discussion

1. Analyses des enquêtes.....	57
2. Paramètres physico-chimiques.....	58
2.1. pH.....	59
2.2. Conductivité (CE)	60
2.3. Salinité.....	61
3. Dosage des éléments métalliques.....	62
3.1. Cadmium.....	62
3.2. Plomb.....	63
3.3. Titane et Cobalt.....	64
3.4. Nickel.....	64
3.5. Fer.....	65
3.6. Cuivre.....	67
3.7. Chrome.....	68
3.8. Fluor.....	69
4. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les éléments métalliques.....	70

Conclusion générale

Conclusion générale.....	73
--------------------------	----

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques.....75

Annexes

Liste des figures

Figure 01. Motif du polychlorure de vinyle.....	11
Figure 02. Motif répétitif du polyéthylène téréphtalate.....	12
Figure 03. Motif de Polystyrène.....	12
Figure 04. Formule générale d'oléfines.....	13
Figure 05. Chaîne macromoléculaire du polyéthylène.....	14
Figure 06. Structure chimique de polyéthylène basse densité.....	15
Figure 07. Formule de polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL).....	15
Figure 08. Schéma de différentes interaction possible entre contenant et son contenu....	19
Figure 09. Processus de migration des aditifs de l'emballage vers l'aliment.....	20
Figure 10. Schéma représentatif des facteurs influant sur la migration.....	21
Figure 11. Signe de la propriété de recyclage.....	33
Figure 12. Schéma de principe de valorisation.....	39
Figure 13. Modèles d'emballage plastique utilisé.....	42
Figure 14. Appareil de mesure, pH, conductivité électrique et salinité.....	45
Figure 15. Appareil de spectrophotométrie UV-visible ; LENG DR 3900 (photos originale.....	45
Figure 16. Réactifs B et C.....	47
Figure 17. Valeurs de pH des échantillons d'eau étudiés.....	60
Figure 18. Valeurs de conductivité des échantillons d'eau étudiés.....	61
Figure 19. Valeurs de salinité des échantillons d'eau étudiés.....	62
Figure 20. Valeurs de cadmium des échantillons d'eau étudiés.....	63
Figure 21. Valeurs de plomb des échantillons d'eau étudiés.....	64

Figure 22. Valeurs de nickel des échantillons d'eau étudiés.....	65
Figure 23. Valeurs de fer des échantillons d'eau étudiés.....	66
Figure 24. Valeurs de cuivre des échantillons d'eau étudiés.....	67
Figure 25. Valeurs de chrome des échantillons d'eau étudiés.....	68
Figure 26. Valeurs de fluore des échantillons d'eau étudiés.....	69

Liste des tableaux

Tableau 01: Quelques additifs incorporés dans le polymère.....	08
Tableau 02: Différents types d'adjuvants ajoutés en faible proportion dans le polymère	09
Tableau 03: Pigments inorganiques.....	10
Tableau 04: Quelque pigment organique utilisé avec les polymères.....	11
Tableau 05: Propriétés du polypropylène	16
Tableau 06: Quelques matières plastiques utilisées dans le domaine de l'emballage.....	17
Tableau 07: Catégories des migrants potentiels emballage/aliment classifiées selon leur poids moléculaire	22
Tableau 08: Différents types d'emballage plastique utilisés dans les régions étudiées.....	57
Tableau 09: Différentes matières domestiques conservées dans les emballages.....	57
Tableau 10: Différents types d'emballages utilisés selon la matière d'origine emballée...	58
Tableau 11: Durée d'utilisation des récipients en plastique chez les familles étudiées.....	58
Tableau 12: Fiche des analyses.....	59
Tableau 13: Corrélation de Pearson des paramètres physico-chimiques et les éléments métalliques dans les échantillons d'eau étudiés.....	71

Liste des abréviations

- BPA : Bisphénol A
- PA : Polyamide.
- PC : Polycarbonate.
- PE : Polyéthylène
- PET : Polyéthylène téréphtalate
- PEHD : Polyéthylène Haute Densité
- PELD : Polyéthylène basse densité
- PEBDL : polyéthylène basse densité linéaire
- PM : Poids moléculaire
- PP : Polypropylène
- PS : Polystyrène.
- PVC : Polychlorure de Vinyle.
- Cd : Cadmium.
- Cl : Chlore.
- Co : cobalt
- Cr : chrome
- Ni : Nickel
- Pb : Plomb
- CE : Conductivité
- NO₃⁻ : Nitrate
- SO₄ : Sulfate
- HCO₃⁻ : Bicarbonate

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Plus récentes que le verre, les métaux ou les papiers-cartons, les matières plastiques ont su toutefois prendre en quelques années une part non négligeable dans tous les secteurs d'activités : bâtiment, emballage, électricité et électronique, transport, biens de consommation, etc.

Les matières plastiques sont utilisées comme matériaux de conditionnement des produits agroalimentaires et remplacent de plus en plus le verre. Cet engouement pour ces matériaux s'explique par leur caractère transparent, leur solidité, leur malléabilité, leur étanchéité aux gaz, aux liquides et aux microorganismes, leur faculté de recyclage, leur poids extrêmement favorable, et bien souvent leur moindre coût.

Les matières plastiques présentent plusieurs avantages comparativement à d'autres matériaux, notamment leur faible coût d'élaboration, leur polyvalence et leur durabilité. Elles donnent lieu à un vaste éventail de polymères ayant des propriétés et des applications particulières et diversifiées, comparativement à d'autres matériaux **(Tolinsky, 2010)**.

L'emballage plastique occupe une place de plus en plus importante dans l'industrie agro alimentaire où il sert à protéger, à conserver, vendre le produit et à informer le consommateur **(Mathlouthi, 2008)**. Les emballages sont omniprésents dans la vie du consommateur. Il existe des problèmes de compatibilité entre les emballages et les aliments **(Boussoum, 2012)**.

Elles entraînent parfois des défauts de qualité tant sur le plan organoleptique que toxicologique. Pour cela, il doit préserver les différentes qualités du produit jusqu'à sa consommation, qualités hygiéniques (non-toxicité), nutritionnelles (valeur énergétique, teneur en vitamines, acides gras insaturés, etc.), organoleptiques (goût, odeur, couleur, texture) et technologiques (aptitude à la transformation). Le plus connu de ces problèmes est la migration de monomères résiduels ou d'adjuvants qui peuvent être relégués par l'emballage et contaminer les aliments **(Riquet, 1998)**.

Dans ce contexte, on pose la question suivante : dans le cadre de valorisation des déchets d'emballage plastique et leur utilisation ménager dans la conservation de certains produits tels que l'eau et les aliments, est ce qu'il y a une interaction entre l'emballage plastique et le produit conservé dans lequel ?

Pour répondre à cette question nous avons effectués ce travail qui basé sur une partie bibliographique sur les différents types de plastique, leurs propriétés, leurs composants, et leurs effets et en fin la valorisation des déchets de ce type d'emballage.

Une partie pratique dans laquelle nous avons montrés par un questionnaire le réemploi excessif d'emballage plastique dans les habitudes familiales de deux types d'emballage plastique (PP, et PEHD), et prouvés l'interaction des deux types d'emballage cités précédemment avec un échantillon d'eau par des analyses physicochimiques, et en fin une conclusion générale.

PARTIE

THEORIQUE

CHAPITR I

Emballages plastiques

Introduction

Les plastique sont des produits synthétiques, fabriqués à partir du pétrole, du charbon ou du gaz naturel .Ils constituent actuellement les principaux matériaux pour les produits d'emballage. Les plastique ont également de nombreuses application dans les domaines de la santé (matériel médico- chirurgical et pharmaceutique stérile), de l'automobile (pare –chocs), de la cosmétologie (tube), de l'agroalimentaire (pot de yogourt) (**Chrystelle et al, 2013**).

1. Définition

Le mot ‘plastique’ dérive du latin ‘plasticus’ qui est lui-même issu du grec ancien ‘plastikos, qui est relatif au modelage.

Les plastiques / matières plastiques correspondent à une répétition d’unités moléculaires simples, appelées monomères. Elles couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères artificiels (acétate de cellulose) ou synthétiques (cellulose, bois, fibres végétales). Les polymères artificiels sont obtenus à partir d’une modification de matières premières naturelles alors que les polymères synthétiques sont totalement issus de la chimie du pétrole. Le celluloïd est considéré comme la toute première matière plastique artificielle dont l’origine remonte à 1856, constitué de nitrate de cellulose et de camphre. La production d’un polymère synthétique est plus récente qui apparait depuis 1910. Les plastiques sont caractérisés par de nombreuses propriétés physiques comme la légèreté, la solidité, la durabilité, la facilité de moulage, la capacité d’absorption de chocs, l’inertie chimique, l’isolation thermique et électrique, la résistance à la corrosion et à l’eau (**Thompson et al, 2009**).

2. Constitution de la matière plastique

La matière plastique utilisée par les industrielles sous plusieurs nuances et noms elle est constituée principalement d'un polymère, un adjuvant, et un additif. Ces différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés mécanique, physique chimique et thermique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures) (**Vilain et al, 1994**).

2.1. Polymères

Sont des matériaux composés de très longues chaînes (macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d'atomes de carbone sur lesquels sont fixés des éléments comme l'hydrogène ou l'oxygène. D'autres éléments, notamment le chlore, l'azote ou le fluor, peuvent encore intervenir dans la composition de la chaîne (C N R, 1999).

2.1.1. Caractéristiques des polymères (Carrga, 2005)

Les caractéristiques spécifiques des polymères se varient d'un polymère à l'autre. Les principales caractéristiques sont :

- La légèreté : la densité de la plupart des polymères est comprise entre 0.9 et 1.8.
- La résistance mécanique : elle varie selon la composition chimique. Les pièces plastiques sont souvent plus résistantes et légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions.
- La transparence : certain polymères ont un coefficient de transmission de la lumière vision de celui du verre et bon nombre sont transparents translucides.
- L'inaltérabilité : ils résistent à l'agression extérieure et à de nombreux produits chimiques, certain demandent une protection contre les ultras violé (U.V).
- L'esthétique : les couleurs sont variées et les possibilités de mise en oeuvre sont nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression « design ».
- L'isolation : se sont des bons isolants électriques, thermiques et acoustiques.
- L'imperméabilité : ils assurent une bonne barrière à l'eau et aux gaz.
- L'entretien : ils ne nécessitent aucun traitement de surface, ils résistent à la corrosion

2.1.2. Classification des polymères (Johnson, 2002)

Les polymères peuvent être classés selon quatre principaux critères:

- **Selon l'origine** peuvent être de différentes origines: animale, végétale, de synthèse ou de transformation.
- **Selon la nature chimique des macromolécules (chaînes)** On distingue les polymères minéraux, organiques et mixtes.

- **Selon la structure des chaînes** Les polymères peuvent avoir une structure linéaire (monodimensionnelle), bidimensionnelle (lamellaire) ou tridimensionnelle (réseau).
- **Selon les propriétés thermiques** On distingue les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

2.2. Types de plastique

Il existe trois types: Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères, elles ont des propriétés différentes.

a) Thermoplastiques Ils ont la propriété d'être malléables lorsqu'on les chauffe, Une fois refroidis, ce sont des plastiques durs. Les thermoplastiques conservent leurs propriétés. Ils sont réversibles et facilement recyclables. Dans les thermoplastiques, il existe entre autre : Polycarbonate (utilisé pour les fours à micro-ondes), polychlorure de vinyle (utilisé pour l'isolation, et les contours de fenêtres), Polyéthylène (utilisé pour les sacs plastiques) (**Dumaine et al, 2011**).

b) Thermodurcissable se sont de un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois. Ils sont insolubles et une fois durci, on ne peut pas changer sa forme. Sont des résines utilisées dans l'industrie, qui, après polymérisation (montée en chaleur) ne reviendront pas à leur état initial (liquide ou pâteux). Quelques exemples : le Polyimide (circuits imprimés), le Polyester insaturé (fibres textiles) (**Dumaine et al, 2011**).

c) Élastomères Ils ont les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc c'est-à-dire qu'ils supportent de très grandes déformations avant rupture. Ils ont une contrainte : ils peuvent se déformer. Ils ont une bonne élasticité, grâce à la vulcanisation qui consiste à cuire avec différents agents chimiques les molécules pour les rendre flexibles. Les élastomères les plus utilisés sont :

- le caoutchouc naturel issu du latex.
- le poly isoprène synthétique.
- le polybutadiène.
- le styrène.
- butadiène.

Grâce aux propriétés des différents plastiques, la diversité des demandes de l'utilisateur est satisfaite. Ces trois grandes familles regroupent donc une multitude de plastiques différents selon les caractéristiques attendues (**Dumaine et al, 2011**).

2.3. Réactifs et produits de polymérisation (annexe 01)

a) Monomères Les monomères sont généralement des simples molécules organiques, dont le noyau est essentiellement constitué d'un atome de carbone et des atomes d'hydrogène, d'azote, plus éventuellement des atomes de chlore, fluor, soufre, etc., reliés entre eux par des liaisons covalentes (**Alberto Ciferri, 2005**).

La matière principale utilisée dans la synthèse de monomères est constituée principalement par des fractions pétrolières issues de la distillation du pétrole brut et d'hydrocarbures légers (éthane, propane, butane) provenant du gaz naturel ou du gaz de raffinerie, une des matières de base de l'industrie pétrochimique est constituée par les coupes de naphta, dont le point d'ébullition varie entre 100 et 140°C (naphta léger) et entre 200 et 220°C (naphta lourd) (**Jean et al, 2001**).

b) Catalyseurs ou des amorceurs sont également utilisés pour augmenter les rendements et les cinétiques de polymérisation. Ces substances à base de métaux et/ou de substances organiques sont susceptibles d'être présentes dans l'emballage (**Vilain et al, 1994**).

c) Produit de polymérisation des petites molécules peuvent être obtenues comme sous produits de réaction. Ces derniers sont bien entendu toxiques et les industriels cherchent à l'éliminer par différents procédés. De même, des traces d'oligomères sont décelables, le trimère cyclique étant celui que l'on trouve en quantité la plus importante. Tel que les produits de dégradation lors de la synthèse du polymère, trace d'oligomère. (**Villain et al, 1994**).

2.4. Additifs dans les plastiques

Les additifs sont des matières qui, ajoutées à un polymère, modifient ses propriétés ou ses caractéristiques (**Lau et al, 2000**).

Il existe une grande variété d'additifs pour une multitude de fonctions : développer ou étendre les propriétés des thermoplastiques, améliorer leur transformation, modifier leur aspect ou augmenter leur résistance à l'environnement extérieur. Cette action sur les caractéristiques et les propriétés des emballages thermoplastiques s'opère de plusieurs

manières : ils peuvent apporter une protection contre les rayons ultraviolets et l'oxygène pour étendre la durée de vie du produit ; ils peuvent aussi faciliter le processus de fabrication du polymère et améliorer l'apparence de l'emballage et par extension l'attractivité du produit. Deux principales d'additifs sont à prendre en compte : les stabilisants et les adjuvants technologiques.

2.4.1. Stabilisants

Ces additifs permettent de conserver les propriétés physico-chimiques des polymères au cours du temps en réagissant à la place du polymère. Ils s'opposent au vieillissement, c'est-à-dire inhibent ou retardent les dégradations par oxydation de la structure chimique du polymère. Cette oxydation peut se produire pendant la mise en œuvre ou l'usage du matériau plastique. Les stabilisants permettent d'inhiber, de réduire et de modifier la formation des radicaux afin d'augmenter la durée de vie du polymère (**zaki , 2008**). On distingue deux principaux types de stabilisants (**Pennarun, 2001 ; Bacha et al, 2012**).

2.4.2. Antioxydants

Les antioxydants sont ajoutés pour freiner les réactions d'oxydation, qui peuvent avoir lieu pendant l'extrusion, la mise en forme et lors de l'utilisation de la matière plastique. L'oxydation est catalysée par la présence de résidu du catalyseur, de défauts dans les chaînes des polymères, par la lumière et par la température. Ils sont normalement ajoutés jusqu'à une quantité de 2% en masse, au cours de la polymérisation et avant la mise en œuvre du polymère. Il existe différents types d'antioxydants destinés aux matières plastiques selon le mécanisme utilisé pour inhiber l'oxydation: des donneurs d'hydrogène, des piègeurs de radicaux libres et des composés facilitant la décomposition de groupements hydroperoxydés. Les antioxydants phénoliques appartiennent au groupe des donneurs d'hydrogène et ils sont les plus utilisés pour la stabilisation des polymères. Les antioxydants les plus communs sont les bisphénol A, 2,6-Bis(tert-butyl) hydroxytoluène (BHT), Irganox, Isonox, Ultranox, Mark PEP, et Irgafos (**Girois, 2004**), (**Vitrac & Joly, 2008**).

2.4.3. Anti lumières plus précisément les anti-UV

La cause principale de la dégradation par photo-oxydation des matériaux plastiques est la présence d'impuretés ou de groupements chromophores dans le polymère. Le mécanisme de protection des anti-UV est basé sur leur absorption à la place du polymère

de la radiation UV et ensuite la dissipation de cette radiation sous forme de chaleur, empêchant la création des radicaux libres sur les chaînes macromoléculaires. Les anti-UV les plus communs sont les Hydroxybenzophénones et les Benzotriazoles (Chimassorb et Tinuvin) (**Girois, 2004 ; Vitrac & Joly, 2008**). La structure de ces additifs est très ramifiée, ces molécules diffusent plus difficilement dans les matrices polymères que des molécules plus linéaires de masse équivalente comme les plastifiants.

2.5. Adjuvants technologiques (Carette *et al*, 1996)

Les adjuvants technologiques permettent de modifier les propriétés physiques et/ou chimiques des polymères. Il en existe une grande diversité, que l'on peut classer par leur mode d'action.

2.5.1. Modificateurs de propriétés mécaniques

Qui rendent le polymère plus résistant aux sollicitations mécaniques (charges, renforts, antichoc, plastifiants...etc.).

Exemple charges et renforts : les charges sont des substance organique ou minérale, végétales ou synthétiques qui ajout aux résine, permettent d'en modifier les propriétés physique, thermique, mécanique et électriques ou simplement d'en abaisser le prix de revient. les propriétés ainsi conférées aux résine dépendent de la nature et de la forme de la charge utilise (poudres, fibres, filaments, feuille, petite billes...) ainsi que de la quantité ajouter. Les charge minérale améliorent les propriétés électriques, la résistance a la chaleur et d l'humidité; elles permettent également d'augmenter la densité de la matière a mouler et de diminuer le retrait (**CNR, 1999**).

2.5.2. Additifs de mise en œuvre

(Plastifiants, stabilisants, agents de nucléation, agents de réticulation... etc.)

Exemple plastifiants : sont des substances de faible volatilité que l'on ajoute a certaines résines en vue de modification principalement leurs propriétés plastique et élastiques sans changer leur nature chimique. Les plastifiants sont des composes liquide ou solide, polymérisés ou non de faible poids moléculaire (200 a 400). Ils peuvent entrer jusqu'à plus de 100 en poids de résine dans la composition d'une matière plastique et permettent d'améliorer la souplesse du produit fini, sa tenue et aux basses températures.

Exemples : Phthalates ; Se sont des plastifiant très utilisés pour les résines polyvinyliques et cellulosiques. Ils peuvent être légèrement irritants pour la peau et les muqueuses.

Bisphénol A; (BPA) est un composé organique aromatique très souvent utilisé dans l'industrie des plastiques depuis les années 1960 comme plastifiant. Il est principalement retrouvé dans le polycarbonate et les résines époxydes, mais aussi comme antioxydant dans le PVC. Sa production mondiale atteint 4 millions de tonnes annuellement malgré son interdiction d'utilisation dans des contenants alimentaires dans de nombreux pays comme le Canada, la France, la Belgique, etc (**Paut & Desphande, 2012**).

2.5.3. Modificateurs des propriétés de la surface du polymère

(Antistatique, lubrifiants... etc.).

a) lubrifiants l'addition de lubrifiants à usage externe a pour but d'éviter que la résine 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 grains au sein de la résine.

Les principaux lubrifiants sont des stéarates métalliques, des stéaramides, des esters d'acide gras, des cires d'hydrocarbures et des acides gras.

b) Antistatique 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, est destinée à éviter l'accumulation des charges électriques. Ces produits, déjà incorporés à la résine, sont utilisés en faible quantité.

2.5.4. Autres adjuvants

Fongicide : Leur rôle est d'empêcher le développement de micro-organismes se nourrissant de certains adjuvants des matières plastiques (plastifiants et lubrifiants) ou susceptibles de modifier les propriétés de surface de ces matériaux. On utilise généralement des composés du cuivre ou du mercure. Les composés organo-mercuriels sont particulièrement toxiques par inhalation et contact cutané notamment, et doivent être manipulés avec précautions.

Tableau 01: Quelques additifs incorporés dans le polymère (Zaki, 2008).

Types d'additifs	Fonctions	Nature	Polymères les incorporant
Charge	Apporter une tenue thermique, chimique et réduire le cout.	Talc, calcaire, farine de bios, cellulose.	PP, polyesters, PA
Plastifiants	Donner de la souplesse	Phosphates, phtalates, adipates, stéarates, glycols	PVC souple
Stabilisants	Contre le vieillissement	Sels de plomb, baryum calcium, étain, stéarates, huile de soja.	Vinyliques
Antioxydants	Contre l'oxydation	Amines aromatique, dérivés phénoliques	PE, PP, styréniques
Colorants	Donner un aspect coloré	Pigments minéraux, (oxyde de Cd, Cr, Fe, Ti) et organique (C), phatalocyanines, diazoïque	Touts

Tableau 02: Différents types d'adjuvants ajoutés en faible proportion dans le polymère (Souccar, 1997).

Type d'adjuvants	fonction	Nature	Polymères les incorporant
Réticulant	Modification la structure	Anhydrides phtaliques, Polyamides aliphatiques, Sels de zirconium, Dérivés d'étain	Polyester, silicones, PEhd
Gonflants	Augmenter la structure cellulaire	Azodiocarbonamides, Pentane fluorocarbures	PSE
Solvants	Faciliter l'enduction	Toluène, xylène, phtalate De diméthyle, cyclohexane éthan	PVC, Cellulosiques
Anti-UV	Retarder la Dégradation photochimique	Benzophénone, complexe Organométallique	touts
Antistatique	Diminuer l'énergie électrostatique	Alkyl phénol, Alkylsulfonate, dérivés Aminés	Stryéniques, Vinyliques oléfiniques
Fongicides	Augmenter la résistance Aux micro-organismes	Dérivés organiques d'étain, Dérivés halogénés du phénol	Vinyliques, Polyester
Lubrifiants internes	Faciliter le moulage	Olé amine, acide palmitique, Stéarate de butyle	PE, PP, Vinyliques, Stryéniques

2.6. Principales classes de colorants

Les colorants utilisés dans les plastiques entrent dans deux catégories très larges: les pigments et les colorants. Les pigments sont définis comme des colorants qui ne se dissolvent pas dans la matrice plastique d'intérêt, tandis que les colorants se dissolvent pendant leur application.

Les pigments minéraux sont les plus stables à la lumière et à la chaleur. Ils ne posent pas de problème de migration. Parmi les pigments minéraux, notons le jaune, l'orange, le rouge de cadmium; les oxydes de fer rouge ou violet, le bleu de manganèse ou de cobalt, et les oxydes de chrome verts. Ces colorants sont utilisables dans tous les plastiques sans précaution spéciale. Par ailleurs, les jaunes et oranges de chrome, l'orange et le rouge de molybdène, les oxydes de fer jaunes ou noirs, le bleu d'outremer sont très sensibles à la chaleur. Ils ont toutefois une bonne tenue aux intempéries, et ne migrent pas. Mais leur

utilisation requiert certaines précautions car ils ne peuvent être incorporés à tous les plastiques.

Tableau 03: Pigments inorganiques utilisé avec les polymères (**Harris, 1999**).

	Les pigments
Oxyde métallique simple	Dioxyde de titane Oxyde de zinc Oxydes de fer Oxyde de chrome
Oxyde métal mélangé	Titanate de nickel Titanate de nickel de nickel Chromate cuivre Chromate cobalt Aluminate de cobalt
sulfures métalliques	Sulfure de zinc Sulfure de cadmium Sulfosélénuire de cadmium
Pigments ultramarins	Bleu outremer Violet outremer

Tableau 04: Quelque pigment organique utilisé avec les polymères (Harris, 1999).

Les pigments	
phtalocyanines	Teinte rouge phthalo bleu Abat-jour vert phthalo bleu Abat-jour bleu phthalo vert Abat-jour,jaune phthalo vert
Quinacridones	Quinacridone rouge Quinacridone violet Quinacridone magnata
Autres pigments organiques	Jaune diazoïque Jaune de quinolone Rouge azoïque

3. Famille de plastique et leur usage

3.1. Polychlorure de vinyle

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère de commodité d'importance économique majeure puisque sa production mondiale annuelle atteint 26 millions de tonnes. Il est utilisé, comme polymère thermoplastique sous deux formes; l'une rigide, correspond au polymère ne contenant qu'une faible proportion d'additifs, tandis que l'autre, souple, possède une teneur en plastifiant pouvant atteindre 50% (**Fontanille & Gnanou, 2002**). Il est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle monomère (CVM) (**Bost, 1974 ; Ausseur 1999**).

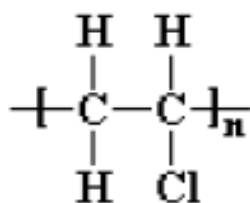


Figure 01. Motif du polychlorure de vinyle

3.2. Polyéthylène téréphtalate (PET)

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polyester aromatique thermoplastique obtenu par réaction de l'éthylène glycol et de l'acide téréphtalique et son unité de répétition. Les deux principaux procédés de synthèse du PET utilisés dans l'industrie sont :

- l'estérification de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol ;
- la transestérification du diméthyle téréphtalate et de l'éthylène glycol (**Hosseini et col, 2007**)

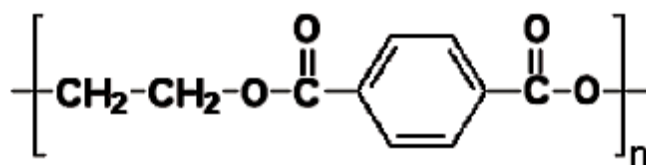


Figure 02. Motif répétitif du polyéthylène téréphtalate

3.3. Polystyrène

Le polystyrène (PS en abrégé) est le polymère-(CH₂-CH(Ph))_n, obtenu par la polymérisation des monomères de styrène CH₂=CH-Ph, le polystyrène est solide à 20°C et pâteux à 120°C, la fusion s'opérant entre 150°C et 170°C. Le polystyrène est généralement inflammable et combustible, la dégradation commençant dès 350°C et l'auto inflammation vers >/<490°C. D'une densité réelle de 1,03 à 1,05, le polystyrène est soluble dans les hydrocarbures chlorés et aromatiques (**MAHIOUT, 2014**).

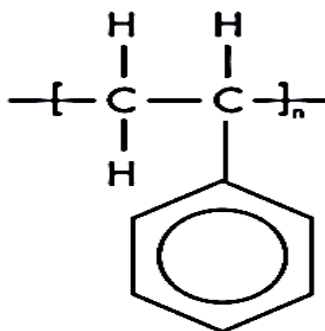


Figure 03. Motif de Polystyrène

3.4. Types de plastiques utilisés dans les emballages alimentaires

Les principaux matériaux plastiques utilisés pour le contact alimentaire sont constitués majoritairement de polymères semi-cristallins, les polyoléfinés et le PET. Le

polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP) qui font partie de la famille des polyoléfines entrent principalement dans la fabrication de films d'emballage, d'opercules, de bouchons et sont utilisés comme couche de scellage dans les matériaux multicouches. Le polychlorure de vinyle (PVC) est également utilisé pour les bouteilles d'huile, de vinaigre avec des additifs spécifiques au contenant. Le polyéthylène téréphtalate (PET), contrairement au PVC, à une très faible perméabilité au CO₂. Il est donc employé dans la fabrication des bouteilles de boissons gazeuses. Il est largement utilisé pour les bouteilles d'eau minérale. Le polystyrène (PS), polymère totalement amorphe, est surtout utilisé dans les emballages de produits laitiers (yaourts, crème fraîche, desserts lactés) **(Berlinet, 2006)**.

Les polyoléfines sont des matériaux résultant de la polymérisation d'oléfines c'est-à-dire de monomères hydrocarbonés, dont la formule générale est :

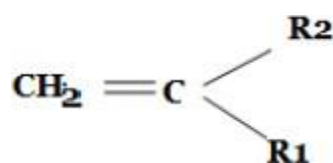


Figure 04. Formule générale d'oléfines

R1 et R2 sont des groupements tels que : H ; CH₂; -CH₂-CH-CH₃)₂... **(Bouterfa, 2013)**.

Ces polymères sont habituellement élaborés par l'intermédiaire d'un catalyseur métallique de transition ou d'un radical libre initiateur (exemple de la polymérisation par le procédé Ziegler- Natta) **(Liao, 1995)**. Les principales polyoléfines industrielles sont : les polyéthylènes (PE) ; les polypropylènes (PP) et les polyisobutylènes (P-IB) **(Bouterfa, 2013)**.

3.4.1. Polyéthylène (PE)

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique obtenu par polymérisation de l'éthylène (C₂H₄) menant à des macromolécules composées par la répétition du monomère CH₂. En 2008, la quantité produite de plastiques synthétiques a été de 245 millions de tonnes, le polyéthylène à lui seul représente un quart de cette production en raison de son faible coût de fabrication et de ses bonnes propriétés physiques et mécaniques. Il possède également d'excellentes propriétés d'isolation électrique et de résistance aux chocs et présente une grande inertie chimique et biologique (contact alimentaire) **(Addiego, 2006; Douminge, 2010)**.

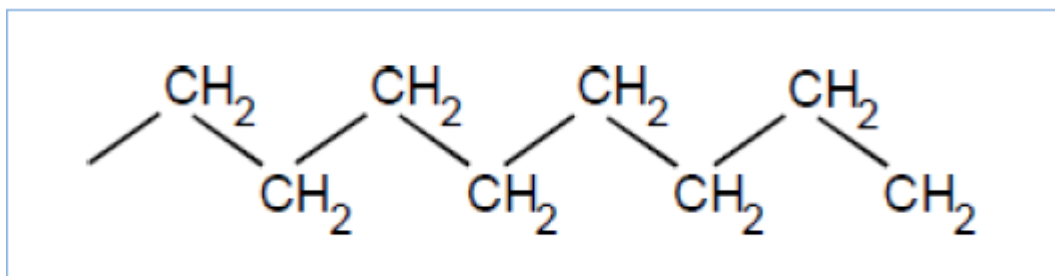


Figure 05. Chaîne macromoléculaire du polyéthylène (Addiego, 2006).

* Propriétés du polyéthylène PE

Le taux de cristallinité des polyéthylènes est étroitement dépendant de leur structure ; il peut varier de 30 % à 70 % selon que la proportion des ramifications (ou celle du comonomère) est élevée ou faible. Les propriétés les plus importantes du PE dans les applications d'emballage comprennent sa thermoscellabilité, sa ténacité, sa grande élasticité, sa résistance au froid et sa bonne résistance à la vapeur d'eau. La perméabilité des gaz, des arômes et des graisses est élevée pour le PELD, ce qui fait que le PELD doit être combiné avec d'autres matériaux dans certaines applications d'emballage alimentaire. Par exemple, seul le PELD n'est pas adapté aux applications où l'oxydation est un problème. Avec une densité croissante, la cristallinité augmente et par conséquent propriétés de barrière ainsi que la dureté et la rigidité de PE augmentent tandis que la ténacité, la résistance au froid et la transparence diminuent. Le PEHD est plus dur et plus cassant que le PELD et présente de meilleures propriétés de barrière. Le PEHD est utilisé comme récipient de stockage et de distribution, mais également comme film à haute résistance à la graisse pour la viande et d'autres produits (Hamza, 2009).

* Différents types de polyéthylène (Blaise, 2011)

Dans la famille des polyéthylènes, un classement en fonction de la densité du polymère qui dépend elle-même de la longueur des ramifications présentes dans les chaînes macromoléculaires conduit aux types suivants

- **Polyéthylène basse densité (PELD) :** Polymère thermoplastique de grande consommation est obtenu par polymérisation radicalaire de l'éthylène en opérant sous très haute pression (1800 à 3000 bars) et à haute température (200 à 300°C). Sa densité, voisine de 0,91-0,92, est plus faible que celle du polyéthylène haute densité, car sa structure révèle un taux de ramification supérieur à ce dernier.

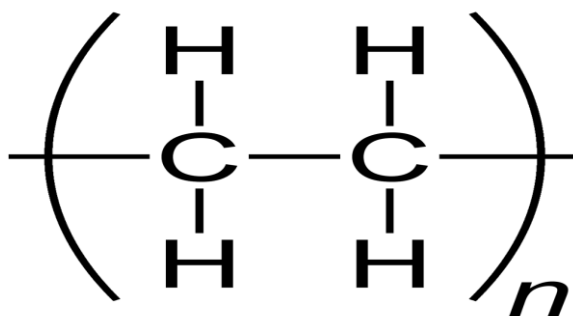


Figure 06. Structure chimique de polyéthylène basse densité.

- **Polyéthylène haute densité (PEHD):** Le polyéthylène haute densité est dit aussi “basse pression” est obtenu par polymérisation sous des conditions moins sévères que celle de PEBD. La pression de polymérisation est inférieure à 50 bars et la température est voisine de 100°C. Sa densité est de 0.96g/cm³ et son taux de cristallinité de 93%. Sa température de fusion est comprise entre 130°C et 145°C. Les chaînes de PEHD sont beaucoup plus alignées que celles de PEBD, ce qui explique la valeur élevée de sa densité. Il possède une structure plus linéaire et plus régulière que le PEBD, bonne résistance aux acides, hydrocarbures.

- **Polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL):** La copolymérisation Ziegler-Natta de l'éthylène et d'une autre α -oléfine (1-butène, 1-hexène, 1-octène ou 4-méthyl-1-pentène) permet d'abaisser la densité du polyéthylène. Les propriétés physiques du matériau vont dépendre de la teneur en co-monomère et de sa distribution statistique. Concernant sa morphologie, il possède des ramifications de chaînes plus courtes que celles du PEBD. Sa masse volumique est de 0,92 cm³/g. Il présente une meilleure résistance à la rupture en traction que le PEBD. Comme toutes les polyoléfines, il est recyclable.

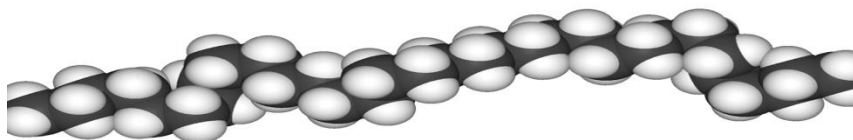


Figure 07: Formule de le polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL).

3.4.2. Polypropylène (PP)

Le PP fait partie de la classe des polyoléfines. Avec un tonnage représentant 21% du total des matières plastiques, c'est l'un des quatre thermoplastiques les plus utilisés avec le

polyéthylène (PE), le polystyrène (PS) et le poly(chlorure de vinyle) (PVC). Polypropylène (ou polypropène) PP est de formule chimique: $(-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -)_n$ résultant de la polymérisation des monomères propylènes $[(\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CH}_3)]$ en présence de catalyseurs suivant principalement le procédé Ziegler-Natta (**Bouterfa, 2013**).

* Propriété de polypropylène PP

Le PP a une grande résistance aux graisses et aux solvants. D'autres propriétés du PP sont sa résistance à la fatigue lorsqu'il est fléchi et qu'il ne subit pas de fissuration sous contrainte. Cependant PP a une faible résistance à la température froide. Ils sont utilisés pour l'emballage de plusieurs aliments, y compris les grignotines et les biscuits (**Amrous et al, 2016**).

Tableau 05: Propriétés du polypropylène (**Amrous et al, 2016**).

Propriétés	Unités	valeurs
PROPRIETES PHYSIQUES		
Densité	g/cm ³	0,91
Absorption d'eau a 23 °C HR50%	%	0,02
Dureté	Echelle D	73-100
Résilience	KJ/m ²	SR 10
Allongement a la rupture	%	650
Résistance a la traction	N/mm ²	21-37
Module d'élasticité en traction	N/mm ²	1300
Etat a 20 °C		Très dur
PROPRIETES THERMIQUES		
T °d'utilisation en continu	°C	-30/+100
T° maxi d'utilisation temporaire	°C	140
Point de fusion	°C	180
Coefficient de dilatation thermique linéaire	10-5mm/°C	15
T° de déformation sous charge 1,85 N/mm ²	°C	65
PROPRIETES CHIMIQUES		
Résistance	Acides, alcalis, solutions, solvants, alcools, benzine, eau, eau, huiles, graisses, détergents, jus de fruit, lait	
Non-résistance	Acides oxydants, hydrocarbures aromatiques, xylol, éviter le contact avec le cuivre	

Tableau 06: Quelques matières plastiques utilisées dans le domaine de l’emballage (Anonyme, 2003).

Code	Nom	Utilisation courante	Exemple de produit a contenu recyclé
	Polyéthylène téréphtalate (PET) De type: Thermoplastique	Bouteilles de boissons gazeuse et autres contenants alimentaire.	Vitamines de polar tapis, chemises a manches courtes montres, souliers de course.
	Polyéthylène haute densité (PE-HD) De type: Thermoplastiques	Bouteilles d'eau de javel et de shampoing, récipients de crème glacée et contenants de laits ou de jus, sacs emporté.	Bac de récupération Bouteilles de shampoing ou d'huile a moteur, mobilier urbain (banc de par cet tab les a pique-nique)
	Polychlorure de vinyle De type : Thermoplastiques	Matériaux de construction stores ,verticaux, boyaux d'arrosage.	Revêtement, tuyaux, cônes0 de circulation, tuiles a plancher.
	Polyéthylène basse densité (PE-ID) De type : Thermoplastiques	Sac a ordures, a épicerie, a sandwich pellicule extensible.	Nouveaux sacs d' épicerie et de magasinage, plastibois.
	Polypropylène (PP) De type : Thermoplastiques	Bouchons et couvercles, pots de yogourt et de margarine.	Brosse a cheveux, coquille de batteries, balais, palette, pièces d'automobile, caisses lais.
	Polystyrène (PS) De type : Élastomère	Expansé (styromousse): verres a café, plateaux pour viandes et poisson, matériel d'isolation. Non expansé : ustensiles, verres de bière, petits contenants de lait et de crème pour le café.	Règles et autres fournitures de bureau, boitiers pour dis que compacts et cassettes vidéo, plateaux de table, isolant.
	Autres: variété de résines, matériaux multicouches.	Bouteilles d'eau de 18 litres réutilisables, bouteilles de ketchup.	Mobilier urbain (plastibois) : banc de parc, tables a pique-nique, clôtures.

4. Interactions contenant/contenu

La mise en contact d'un contenu (denrée alimentaire) et d'un contenant (emballage), dans des conditions définies : temps, de température, de surface relative, entraîne presque inéluctablement une éventualité de migration réciproque, aussi faible soit-elle, des produits en présence, c'est-à-dire passage de substances d'un milieu à l'autre. Lorsqu'on arrive à un état d'équilibre, le matériau est complètement pénétré, et les migrants se répartissent entre le matériau et le milieu au contact sur la base de leur affinité pour ces deux milieux. L'inertie d'un emballage est rarement totale ce qui peut engendrer par exemple une altération des propriétés organoleptiques de l'aliment ou éventuellement un problème toxicologique. Ce contact contenant/contenu peut également influencer les propriétés mécaniques de l'emballage (Zaki, 2008).

4.1. Différents phénomènes d'interaction

4.1.1. Perméation

La perméation se caractérise par le transfert de gaz à travers l'emballage, notamment l'O₂ vers l'aliment, le CO₂ vers l'extérieur de l'emballage et le passage des composés volatils de l'extérieur vers l'aliment. Ce phénomène doit être réduit afin d'éviter la prolifération des bactéries dans l'aliment, les pertes de carbonatation dans les boissons gazeuses, la perte des arômes ou de flaveur dans le produit fini. En effet, les propriétés organoleptiques des aliments résultent d'un équilibre entre les composés volatils qui sont susceptibles de se transférer du produit vers l'extérieur (perte d'arômes) et les substances susceptibles de passer de l'extérieur vers l'aliment (contamination de produit) (Zaki, 2008); (Severin *et al.*, 2011).

4.1.2. Sorption

Lors d'un contact d'un aliment avec son emballage, un transfert de molécules de l'aliment vers l'emballage peut avoir lieu (Zaki, 2008). La sorption est l'assimilation des constituants de l'aliment par la paroi l'emballage plastique suivie de leur pénétration dans le polymère. Le processus de sorption peut induire une perte des arômes de l'aliment et entraîner une modification structurale du polymère (Severin *et al.*, 2011). En effet, le vieillissement irréversible du polymère peut être induit par des modifications de la structure chimique des chaînes macromoléculaires et de son état physique (Zaki, 2008).

Les phénomènes de sorption sont plus fréquents avec des composés lipophiles, cela est dû à la grande affinité pour la plupart des emballages qui sont aussi peu ou pas polaires (PE, PET, PS, PP). De plus, si le matériau plastique est recyclé ou réutilisé comme emballage destiné au contact alimentaire, les composés étrangers absorbés dans le polymère sont des éventuels migrants (**Sax, 2010**).

4.1.3 Migration

La migration correspond au transfert des constituants de l'emballage vers l'aliment. Il peut s'agir d'adjuvants technologiques (catalyseurs, plastifiant, anti-oxydants), de monomères résiduels, d'oligomères, de pigments, des solvants des encres d'impression et des produits néoformés ou des produits de dégradation. La migration des constituants de l'emballage vers le produit conditionné est un autre type d'échange de matière qui constitue un problème de sécurité alimentaire (**Feigenbaum et al, 2006; Sax, 2010**).

Ce phénomène de migration dépend de la composition de l'emballage (nature, volatilité, concentration des molécules) mais également de celle de l'aliment, puisque la migration est fonction des affinités entre le migrant et le produit emballé. La migration peut induire des problèmes de toxicité mais également des odeurs indésirables et c'est pourquoi elle est considérée comme un processus de contamination des aliments (**Boussoum, 2012**).

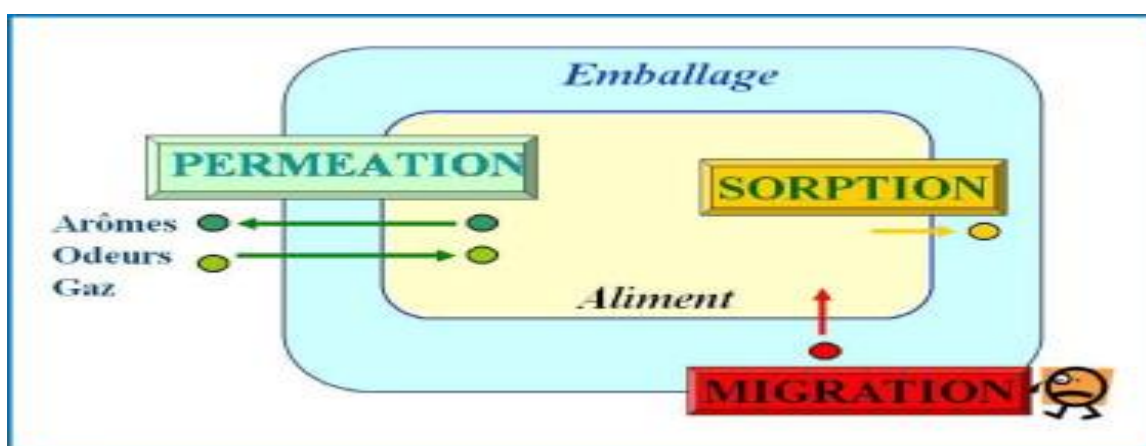


Figure 08. Schéma de différentes interactions possibles entre contenant et son contenu (**Feigenbaum et al, 2006**).

A. Définition d'un migrât

Un migrât est l'ensemble des substances cédées par un matériau à des denrées alimentaires en contact dans des conditions proches des conditions réelles d'utilisations.

Ces substances composent généralement un mélange de produits non identifiés ou partiellement identifiés présents à des concentrations variables dans l'aliment ou le simulant (BACHA *et al.*, 2011).

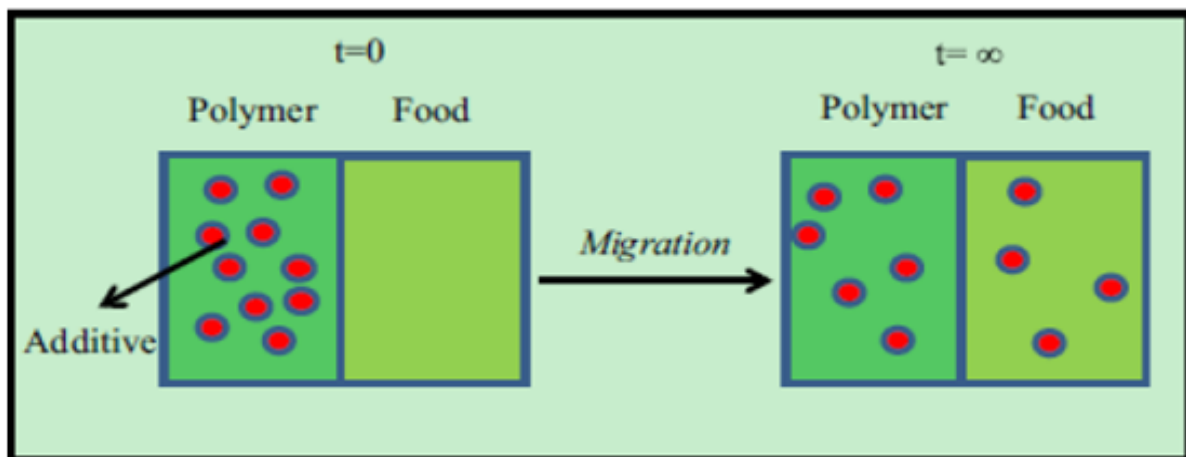


Figure 09. Processus de migration des additifs de l'emballage vers l'aliment (Bacha *et al.*, 2011).

B. Type de migration

Il existe deux types de migration :

- **Migration globale** : qui n'évalue que la masse globale de migrants perdus par l'emballage, sans distinguer la nature et la spécificité de ces migrants.
- **Migrants spécifiques** : qui, au contraire, s'efforcent de qualifier et d'identifier chacun de ces éléments qui migrent de l'emballage vers l'aliment (BACHA *et al.*, 2011).

C. Substances susceptibles de migrer

Il s'agit de toute substance présente dans le matériau et non introduite délibérément pendant sa fabrication. Ces substances n'ont aucune fonction pour la mise en œuvre ni pour les performances de l'emballage. À signaler qu'elles ne font pas partie des listes positives et qu'elles sont introduites involontairement durant la fabrication des matières plastiques (FRANZ & Welle, 2008).

Elles peuvent provenir de plusieurs origines :

* Des impuretés présentes dans les additifs utilisés pour la mise en œuvre de l'emballage (Muncke, 2009).

* De la dégradation du polymère, de ses additifs, sous l'action de la lumière, de l'oxydation, d'une mise en oeuvre à haute température prolongée, d'une hydrolyse ou de la réactivité entre eux. Ils sont non prévisibles dans la mesure où ces réactions sont mal connues (Sevrin, *et al*, 2011).

* Des substances étrangères en provenance de l'extérieur et dont leur présence est liée à un manque d'imperméabilité de l'emballage (Konkol, 2004 ; Ceretti *et al*, 2010).

* Des pollutions avant le recyclage de l'emballage suite à un usage non adéquat de celui-ci (produits domestiques, essence, huiles, diluants, solvants, pesticides et autres) (Sax, 2010).

D. Facteurs influant sur la migration

Il existe des facteurs internes et des facteurs externes qui ont un effet direct sur la diffusion des molécules présentes dans l'emballage. Les facteurs internes font référence à des propriétés inhérentes des molécules diffusantes et aux matériaux tels que la nature chimique des substances (monomères, additifs, néoformés) présentes dans les matières plastiques ainsi que l'état structural et la morphologie du polymère (Afssa, 2008).

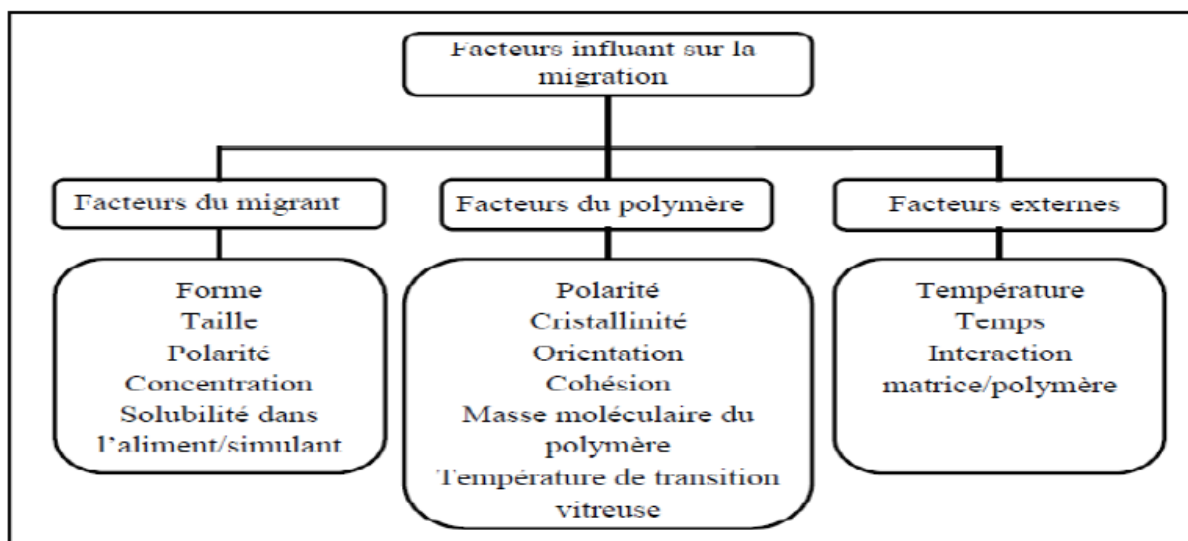


Figure 10. Schéma représentatif des facteurs influant sur la migration (Layal, 2013).

D.1. Facteurs du migrant

La migration dépend de la structure chimique du migrant tel que la forme, la taille, la polarité, la concentration du migrant ainsi que sa solubilité dans l'aliment ou dans le simulant. Le poids moléculaire et la structure chimique des migrants sont deux paramètres qui ont une influence directe sur la migration.

Trois catégories différentes des migrants représentées dans le tableau :

Tableau 07: Catégories des migrants potentiels emballage/aliment classifiées selon leur poids moléculaire (Afssa , 2008)

Poids moléculaire (PM) du migration (g/mol)	Type de migration	caractéristiques
PM 250-300	Monomères les plus communs quelques additifs (ex: BHT)	Migration spontanée due a la volatilité des composés
200 PM 1200	Peu de monomères Additifs communs Produit de dégradation	Migration dépendant du type d'aliment condition (aqueux/gras)
PM 1200	Autres additifs Oligomère Produit de dégradation des additifs de grande masse	Migration très basse

D.2. Facteurs du polymère

La migration dépend aussi des caractéristiques morphologiques et chimiques du polymère tel que la polarité, la cristallinité, l'orientation et la cohésion des chaînes moléculaires, la masse moléculaire du polymère, et de la température de transition vitreuse (Severain *et al*, 2011).

* Nature des constituants du polymère

- ✓ De façon générale, toutes les substances entrant dans la composition (monomères, catalyseurs, additifs, etc.) des matières plastiques sont susceptibles de migrer. Les additifs (stabilisants et adjuvants technologiques), utilisés pour donner des propriétés spécifiques au produit final, ne sont pas liés à la chaîne polymérique par des liaisons fortes et leur risque de migration est plus élevé.
- ✓ De plus, des substances ajoutées involontairement dans les matières plastiques, non listées dans le règlement N°10/2011, telles que des impuretés des monomères, des produits de dégradation des additifs et des polluants du PET recyclé, peuvent être aussi présentes dans le polymère. Ces composés sont aussi d'éventuels migrants et beaucoup d'entre eux restent encore à identifier (Severain *et al*, 2011).

- **Polarité et la cristallinité du polymère dans l’emballage**

Le degré de polarité et les rapports cristallins / amorphes, sont des facteurs majeurs qui affectent la performance (**Lau & Wong, 2000**). La polarité est importante du point de vue des interactions des groupes fonctionnels avec les perméants polaires et la cristallinité réduit le volume de polymère amorphe disponible comme milieu de perméabilité (**Sevrin, 2011**). En effet, La cristallinité réduit la mobilité des chaînes en diminuant la distance entre les liaisons des chaînes amorphes et des cristallites (**Bach Campa, 2011**) ce qui améliore la performance et la propriété barrière de l’emballage.

Il a été montré que les polymères polaires ont tendance à sorber des molécules polaires tandis que les polymères apolaires ont tendance à absorber des molécules apolaires. Par exemple, si les polyoléfines (PP ou PEBD) adsorbent plus les composés apolaires comme les esters à longue chaîne, les polymères polaires absorbent majoritairement les alcools en raison des liaisons hydrogène ou forces de Van der Waals qui peuvent avoir lieu (**Nielsen et al, 1992**).

La sorption des composés d’arôme apolaires comme les terpènes décroît dans les polymères de la façon suivante : PEBD, PEHD, PP, PS, PVC, PC, PET. Une affinité entre le polymère et les composés d’arôme a donc pour effet de modifier le profil aromatique de l’aliment emballé.

- **Conditions de contact et de conservation**

La migration augmente avec la durée et la température de stockage. Elle est aussi fonction de la surface et de l’épaisseur du matériau au contact de l’aliment, mais (il existe aussi des matériaux très fins susceptibles de transférer des additifs) (**Boussoum, 2012**).

- **Nature du matériau d’emballage**

Certains additifs ont plus ou moins d’affinité pour le milieu au contact. Prenons l’exemple du PVC rigide : pour améliorer sa souplesse, les fabricants lui ajoutent généralement des huiles minérales (hydrocarbures d’origine minérale). Plus la concentration d’huile augmente, plus la migration est importante (**Boussoum, 2012**).

- **Nature de l'aliment emballé**

Il existe des phénomènes d'affinité entre le migrant et le produit emballé ; comme la plupart des monomères et des adjuvants sont lipophiles, le migrant migrera mieux dans un milieu gras que dans un milieu aqueux **(Boussoum, 2012)**.

4.2. Conséquences des transferts de masse

4.2.1. Conséquences sur les produits emballés

Les monomères du matériau de base ou les additifs incorporés au polymère peuvent se transférer à l'aliment, avec des conséquences sur les plans organoleptique et/ou toxicologique. Ce phénomène de migration est étroitement lié à la composition du produit emballé (nature, volatilité, concentration des molécules). D'autre part, la sorption de certaines molécules de l'aliment par les matériaux polymères peut causer une perte d'arôme et un déséquilibre aromatique **(Zaki, 2008)**.

Plusieurs études ont montré que des quantités considérables de composés aromatiques peuvent être absorbées par les emballages en plastique. Ces interactions peuvent aussi influencer la qualité sensorielle et la durée de vie du produit et même conduire à une perte totale de l'odeur ou à un changement du caractère de l'arôme **(Berlinet et al, 2005)**.

4.2.2. Conséquences sur les matériaux polymères

Les phénomènes de transport (pénétration de solvant ou migration d'adjuvants) peuvent provoquer le vieillissement physique des polymères qui se traduisent par une altération lente et irréversible de ses propriétés. Cette altération peut concerner la structure chimique de ses molécules, la composition du matériau ou son état physique **(Zaki, 2008)**.

a) Plastification et le gonflement

La pénétration des molécules d'un solvant dans un système polymère en détruisant des liaisons intermoléculaires. La cohésion du système polymère est par conséquent affaiblie et la mobilité moléculaire augmente. Cela se traduit par une diminution de la contrainte au seuil de l'écoulement et une diminution de la température de transition vitreuse. Ce phénomène est appelé plastification. Une autre conséquence de l'absorption de solvant est le gonflement du polymère **(Maou, 2012)**.

b) Migration d'adjuvants

La perte d'adjuvants résulte de la migration de ces derniers hors des matériaux. Dans tous les cas, le départ de l'adjuvant se traduit par la perte des propriétés qu'il était censé apporter au polymère. On peut distinguer trois mécanismes principaux (**Azzi, 2017**):

* **Evaporation** : Les molécules du plastifiant se trouvant à la surface peuvent donc passer dans l'atmosphère, d'où l'existence d'un gradient de concentration dans l'épaisseur du matériau. La capacité d'évaporation du plastifiant est directement liée au poids moléculaire de ce dernier.

* **Extraction** : Les phénomènes d'extraction sont à prendre en compte dans le cas de contact entre un polymère et un milieu liquide.

* **L'exsudation** : L'exsudation n'est autre que le résultat d'une évolution vers l'équilibre. Dans certains cas, le mélange (polymère + adjuvant) peut être déstabilisé par un tiers corps provenant de l'environnement.

CHAPITR II

Effet des plastiques

1. Toxicité et dégradation de la matière plastique

Les matières plastiques sont obtenues en incorporant à une "résine" de base, divers adjuvants qui améliorent les caractéristiques du plastique. Elles peuvent, dans de nombreux cas, constituer des polluants directs, et sont aussi à l'origine de polluants secondaires. A température ambiante, les plastiques produits sont généralement considérés comme présentant peu de dangers ; mais brûlés, ils deviennent préoccupants (**De Beer, 2003**). Ainsi, plusieurs produits de combustion sont toxiques pour l'homme, d'autres peuvent jouer un rôle dans des pollutions de l'atmosphère comme les pluies acides.

1.1. Impacts environnementaux

Lorsqu'il est acheminé vers un lieu d'enfouissement sanitaire, le plastique traditionnel reste stable et inerte, c'est-à-dire qu'il ne se dégrade pas. Le plastique est donc peu susceptible de porter atteinte aux sols, de produire des gaz à effet de serre ou de générer de la lixiviation pouvant nuire aux nappes phréatiques. Son impact réside essentiellement dans la réduction de la durée de vie de ces lieux d'enfouissement (**Gervais, 2010**) Les constituants des matières plastiques, ainsi que les produits chimiques et les métaux qui se libèrent peuvent finir dans le corps des organismes vivants, notamment, marins où ils se concentrent pour ensuite remonter dans la chaîne alimentaire et arriver finalement à l'humain (**R E S, 2015**).

1.1.1. Effet sur le sol et les végétaux

Les sachets plastiques s'accumulent dans le sol pour former des couches successives imperméables. L'utilisation des sachets plastiques est responsable de la pollution physique de l'environnement, de l'effet de bouchage des canaux de conduite et d'évacuation des eaux et des déchets liquides divers. Ainsi, les sachets plastiques usagés enfouis sous le sable empêchent l'eau de pluie de pénétrer dans le sol, avec un ralentissement sur la germination des graines. Ils empêchent également l'infiltration d'eau pour atteindre les nappes phréatiques (**Diene, 2014**).

1.1.2. Effet sur l'air

La pollution atmosphérique résulte d'un apport de gaz et de particules par l'activité humaine. Les combustibles fossiles (pétrole en particulier) utilisés pour la fabrication des matières plastiques sont des sources importantes de gaz à effet de serre (CO₂, CO, HC, NO....) qui en s'accumulant conduit au réchauffement climatique et l'instabilité

climatique à l'échelle planétaire Lors de la combustion des matières plastiques, en fonction de leur composition, des quantités de dibenzodioxine polychlorés (PCDD), de dibenzofuranes polychlorés (PCDF), ainsi que des hydrocarbures aromatiques, des phénols et des métaux lourds peuvent être libérés dans l'atmosphère. Exemple, le chlorure d'hydrogène se forme lors de l'incinération des déchets contenant du PVC. Ce gaz contribue à la destruction de la couche d'ozone et participe à la formation des pluies acides (Remita & Smaili, 2013).

1.1.3. Effet sur la santé humaine

Les sachets plastiques d'emballages sont en effet considérés comme très polluants et nocifs sur la santé, de l'usage jusqu'à l'incinération. La fumée produite par l'incinération des sachets plastiques contient en effet des dioxines qui s'attaquent aux poumons ou aux hormones. Ce qui peut provoquer des cancers et des malformations chez les nouveaux nés (Diene, 2014).

Les adjuvants plastiques et les monomères peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. Selon Dematteo (2011), de nombreuses substances sont considérées comme préoccupantes en raison de leur lien potentiel avec le cancer, la perturbation endocrinienne, des anomalies congénitales et des problèmes neurologiques. Les composés suivants en sont souvent cités :

- **Bisphénol A (BPA)**

Le BPA est un monomère qui entre dans la fabrication du polycarbonate plastique, résine que l'on utilise dans les parois des cannettes et des boîtes de conserve pour les aliments et les boissons. Des études réalisées sur des souris montrent un certain nombre d'effets néfastes chez la progéniture exposées au BPA, comme un développement anormal des bourgeons mammaires. Des études sur des sujets humains ont permis de découvrir les effets nocifs d'une grande charge corporelle en BPA chez les femmes qui entraîneraient des fausses couches, kystes ovariens, obésité et endométriose (Dematteo, 2011).

- **Chlorure de vinyle (PVC)**

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) considère le chlorure de vinyle comme étant cancérigène pour les humains. Il a été démontré aussi qu'il est un cancérigène mammaire pour les animaux (Dematteo, 2011).

- **Styrène**

Le styrène est employé dans la production de plusieurs matières plastiques, résines et agents de vulcanisation comme le caoutchouc butadiène-styrène. Le CIRC considère le styrène comme étant potentiellement cancérigène pour les humains. Des études ont démontré qu'il peut induire des tumeurs des glandes mammaires chez les animaux. Il agit également comme un perturbateur endocrinien (**Dematteo, 2011**).

- **Plastifiants**

Les phtalates appartiennent à une grande catégorie de substances qui sont employées pour fabriquer des matières plastiques molles et malléables. Ils peuvent être rejetés dans l'air durant le traitement thermique. On soupçonne l'action oestrogénique du di-(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP) qui est utilisé pour plastifier le PVC, de jouer un rôle dans le développement du cancer des testicules et du sein. Une étude de la population exposée au phtalate dans le nord du Mexique a permis de constater qu'il y avait un risque élevé de cancer du sein (**Dematteo, 2011**).

- **Métaux**

Différents composés métalliques sont utilisés comme stabilisants et colorants dans les polymères. Le CIRC a classé les composés de plomb dont on se sert pour stabiliser le PVC parmi les substances possiblement cancérigènes pour les humains. Le plomb est également considéré comme un perturbateur endocrinien et peut avoir des effets sur la fonction reproductrice des hommes et des femmes. Lorsque le cadmium est employé comme pigment dans les thermoplastiques, le procédé de moulage par injection produit des concentrations mesurables dans l'air. Le CIRC a classé le cadmium parmi les substances cancérigènes pour les humains (**Dematteo, 2011**).

1.2. Dégradation des plastiques dans l'environnement

En règle générale, les plastiques ne se dégradent pas naturellement lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement car l'une des principales raisons de la popularité et l'application généralisée de nombreux polymères est leur exceptionnelle stabilité et durabilité. Un sac plastique met 200 ans pour disparaître, une bouteille 1000 ans (**Bonhomme et al, 2003**).

Il existe quatre mécanismes par lesquels les plastiques se dégradent dans l'environnement: La photo-dégradation, la dégradation thermo-oxydative, la dégradation par hydrolyse et la biodégradation par les micro-organismes (**Andrady, 2011**).

1.2.1. Photo-dégradation

Les matières plastiques se décomposent en premier lieu par la dégradation photo-oxydative activée par le rayonnement solaire. L'effet de ces rayonnements dépend de leur longueur d'onde. En effet, l'énergie spectrale du rayonnement solaire atteignant la surface de la terre se situe entre 298 nm dans la région Ultraviolet (UV) et 2500 nm dans la région du proche infrarouge. La plupart des dégradations photo-oxydatives se produisent dans les courtes longueurs d'onde (280nm-420nm). Ces derniers sont capables de briser des liens solides (**Hammer, et al., 2012**).

Ainsi l'effet du rayonnement solaire sur le plastique dépend de la longueur d'onde du rayonnement, de la force des liens à l'intérieur du polymère mais aussi de la présence de chromophores (Un chromophore est un groupe chimique capable d'absorption sélective de lumière résultant de la coloration de certains composés organiques aromatiques) qui peuvent absorber des longueurs d'onde plus longue que 290nm (**Andrady, 2003**).

1.2.2. Dégradation thermo-oxydative

La lumière ultraviolet du soleil fournit l'énergie d'activation nécessaire afin d'initier l'incorporation d'atomes d'oxygène dans le polymère (**Raquez, et al, 2011**). Cela fragilise le plastique et le conduit à se fragmenter en particules de plus en plus petites, jusqu'à ce que les chaînes polymères atteignent un poids moléculaire suffisamment faible pour être métabolisées par les micro-organismes (**Andrady, 2011**).

1.2.3. Biodégradation

Elle est due à des organismes vivants. Ces derniers convertissent le carbone des chaînes de polymère en dioxyde de carbone ou l'incorporent dans des biomolécules (**Andrady, 2011**).

La bio-détérioration peut être engendrée par l'action mécanique du biofilm bactérien qui se forme à la surface du plastique et qui va pouvoir agrandir les fissures déjà présentes (**Bonhomme, et al, 2003**). Une dégradation chimique peut également être orchestrée par la grande diversité des espèces présentes dans le biofilm, telle que la production de composés acides par les bactéries chimiolithotrophes et chimioorganotrophes.

1.2.4. Dégradation par hydrolyse

L'humidité élevée accélère le taux de dégradation de plusieurs classes de plastiques (Davis et Sims., 1983). Ceci peut être provoqué par la "plastification" de petites quantités d'eau absorbée menant à une plus grande accessibilité de la matrice avec l'oxygène atmosphérique ou par la lixiviation des additifs stabilisants contenu dans les particules. Cependant, tous ces processus sont lents, le plastique peut prendre jusqu'à 50ans pour se dégrader totalement (Muller *et al*, 2001).

Ceci est encore plus difficile dans l'eau de mer, car l'effet photo dégradatif est significativement diminué en raison des températures basses et de la faible disponibilité de l'oxygène (Andrady, 2011).

2. Recyclage de plastique

Les matières plastiques ont un effet sur l'environnement durant toute l'étape de leurs vies, comme matière première de mise en œuvre, comme produit recyclé et majoritairement comme déchet. Certaines mesures réglementaires sont actuellement prises pour encourager et d'autres pour imposer le recyclage en vue de conserver les ressources naturelles pour les générations futures dans des perspectives de développement durable. D'où la nécessité de trouver des techniques non polluantes de recyclage de ces matériaux polymères, les thermoplastiques se distinguent par leurs propriétés de recyclage. Ils ont la possibilité de conserver leurs propriétés plastiques contrairement aux thermodurcissables et les élastomères (Colbeaux, 2001).

2.1. Déchets plastiques

Durant les quarante dernières années, on a assisté à une augmentation du niveau de vie et à une modification des modes de consommation qui ont généré une augmentation importante des déchets. Pendant le même temps les matériaux à base de polymères ont été de plus en plus largement utilisés dans tous les domaines. En effet en Europe les déchets plastiques ne représentent pas moins de 12,5 millions de tonnes par an et seuls quelques 7% de cette quantité sont destinés à une filière de recyclage (C N R, 2011-2012).

2.1.1. Classement des déchets plastiques (C N R, 2011-2012)

2.1.1.1. Déchets avant utilisation industriels

Les déchets plastiques industriels correspondent à l'ensemble des plastiques produits par les entreprises. Ces déchets regroupent des catégories différentes du fait de leurs

origines. Certains de ces déchets représentent les chutes récupérées au niveau des machines lors de la production de matières plastiques ou de leur transformation, ils sont en principe propres et sont directement recyclables pour fabriquer le même produit. Par exemple les chutes du moulage des pots de yaourt en feuilles de polystyrène qui se recyclent dans les mêmes applications, comme le fait ALL PLAST, les chutes des films en plastique que fabrique MULTI PLAST sont recyclés dans de nouveaux films, l'installation de canalisation en polyéthylène génère aussi des chutes qui peuvent être recyclées pour la fabrication d'autres canalisations.

2.1.1.2. Déchets après utilisation ménagers

Les déchets plastiques après utilisation sont issus de l'activité domestique quotidienne des ménages, ne sont pas habituellement propres, car ils sont mélangés avec différents plastiques et de déchets non plastiques, les déchets plastiques sont achetés par les recycleurs pour fabriquer de nouveaux produits, pour les recycler ils doivent d'abord être nettoyés et séparés en matériaux homogènes. Les principaux plastiques (PE, PET, PP, PS) représentent une grande partie de l'ensemble de déchets ainsi que les produits d'emballage.

2.2. Valorisation des matières plastiques (annexe 02)

La valorisation des matières plastiques prend une ampleur de plus en plus considérable, du fait de l'évolution des réglementations sur l'écologie et les demande sociétale et associative pour la préservation et la qualité de l'environnement. Cette valorisation s'effectue dans le but de lutter contre la pollution de l'environnement, l'impact néfaste de certaines matières plastiques sur la santé, comme les emballages plastiques en PVC possédant du chlorure, et le gaspillage d'énergie. En effet, la majeure partie des matériaux plastiques sont des dérivés du pétrole et représentent près de 4% de la consommation mondiale des produits pétroliers.

Aujourd'hui, les domaines où la valorisation des déchets plastiques est la plus pratiquée sont l'automobile, l'électrique et l'électronique, l'emballage. Outre la valorisation énergétique qui consiste à récupérer, par incinération, l'énergie thermique "stockée" dans le matériau plastique, il existe deux formes de valorisations : le recyclage et l'utilisation des matériaux biodégradables (**Gautron, 1999**).

* **Recyclage:** C'est la transformation d'un produit pour en faire une nouvelle utilisation. Recycler permet d'avoir à nouveau de la matière première. Ainsi, on peut

fabriquer de nouveaux produits ou créer de l'énergie, sans puiser dans les ressources naturelles (arbres, minerais, pétrole). (**Gautron; 1999**).



Figure 11. Signe de la propriété de recyclage (**Reichl, 2004**).

Chacune de ces trois flèches se trouvent dans cette figure ont des significations

- La première : symbolise la collecte des matériaux usés.
- La seconde : la réutilisation et la production de nouveaux produits grâce aux rebuts.
- La troisième : reconnaît le rôle important du consommateur qui réclame de plus en plus des produits recyclés (**Reichl, 2004**).

• **Objectifs de recyclage** : Le recyclage des plastiques est un moyen de protection de l'environnement, et ce par la réduction de déchets. Etant un dérivé du pétrole, la réduction du plastique et ses déchets représentent un intérêt environnemental et économique, sachant que le recyclage d'une tonne de plastique équivaut à une économie de 700 Kg de pétrole brut. Les produits fabriqués à base de plastiques recyclés couvrent plusieurs domaines : des tuyaux de drainage, des cassettes audio et vidéo, des casques de vélo, il existe même des ordinateurs en plastique recyclé.

Parmi ces actions, la promotion des activités de recyclage et de valorisation des déchets. Cependant, le recyclage a d'autres objectifs :

- il économise l'espace dans les centres d'enfouissement des déchets ;
- il baisse les dépenses de traitement des déchets solides municipaux (DSM) ;
- il minimise l'utilisation de ressources.

La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques avec un taux moyen de 72%. Quant au plastique, il ne représente que 10% de ces déchets et 9.3 % pour le papier/carton, 4.14% pour le chiffon et autres, 3.2% pour les métaux et 1.36% pour le verre. Le passage des entreprises productrices des boissons et d'eau minérale à l'utilisation des bouteilles en plastique au lieu des bouteilles en verre a augmenté le taux des matériaux à recyclé. (**Ferhi, 2013**).

- **Chaîne du recyclage (Saadani , 2010)**

a) Collecte et tri des déchets plastiques

La collecte est le procédé fondamental par lequel les matières recyclables sont acheminées vers des établissements de transformation ou de manutention. Les déchets plastiques sont collectés aux fins de recyclage plutôt que jetés aux dépotoirs après usages. Ils sont triés selon leurs types puis comprimés et emballés pour minimiser les coûts de transport, ensuite on les achemine vers les lieux de stockage ou de traitement.

b) Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de Transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

c) Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues Du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

- **Types du recyclage (Cherfa, 2007)**

*** Valorisation énergétique :** il s'agit du traitement des déchets plastiques par incinération (combustion totale), avec ou sans récupération d'énergie. Les déchets plastiques présents dans les déchets incinérés apportent le pouvoir calorifique indispensable à la combustion et évitent, de fait, l'utilisation d'autres combustibles tels que les hydrocarbures. Pratiquement tous les plastiques peuvent être incinérés. Cependant, la dégradation de certains matériaux peut dégager des composés toxiques (acide chlorhydrique dans le cas du polychlorure de vinyle, acide nitrique pour le polyamide, acide sulfurique pour certains caoutchoucs. . .).

*** Valorisation matière, ou recyclage 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 plastiques à 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 présentons ci-après sont des modes de valorisation matière Suivant

les diverses procédés intervenant dans le cycle du recyclage mécanique, il existe plusieurs métiers du recyclage :

- Récupération

Elle consiste à préparer les matières à recycler. Les étapes de cette première phase du recyclage mécanique sont la collecte, le tri et le broyage des déchets qui sont ensuite revendus. Ces activités ne sont pas récentes ; le ramassage des déchets ménagers existant depuis longtemps. Par contre, la valeur ajoutée créée sur ce genre de matières est un projet dont la pratique effective n'a vu le jour que dans les années 90. Après broyage, les déchets plastiques sont généralement achetés par des "générateurs".

- Séparation-régénération

La régénération est une opération qui consiste à éliminer les impuretés présentes dans les polymères. Elle s'accompagne très souvent d'une séparation des différents composants polymères d'un mélange. On obtient ainsi un isolement des différents polymères présents dans le déchet hétérogène et impur de départ, ces polymères étant débarrassés de leurs impuretés à un taux inférieur à 1%. L'inconvénient de cette étape de recyclage est son coût onéreux de mise en œuvre qui constitue, de loin, le plus élevé du cycle du recyclage. Cette opération se divise toujours en quatre étapes principales : le broyage, le lavage, la séparation et le séchage.

- Transformation

Les transformateurs, plus communément appelés "recycleurs", ont le rôle majeur dans la valorisation des déchets puisqu'ils peuvent élaborer de nouveaux produits. Cette étape du recyclage mécanique s'opère par une formulation réalisée par une transformation thermomécanique conventionnelle comme l'extrusion ou l'injection plastique. Les résines traitées sont donc principalement des thermoplastiques. Parmi les résines recyclées, on retrouve dans la plupart des cas celles des polymères de grande consommation tels que le polypropylène (PP), le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS) ou le polyéthylène téréphtalate (PET). En revanche, les plastiques techniques, plus sensibles à des mises en œuvre thermomécaniques successives intéressent moins les recycleurs.

La formulation conduit à différents types de mélanges hétérogènes qui sont le plus souvent des thermoplastiques chargés. Les charges ont pour rôles d'accomplir diverses fonctions sur les propriétés du produit recyclé par rapport à ses applications futures. Elles

peuvent être minérales ou organiques. Après leur formulation, les produits recyclés à base de polymères sont réduits en granulés et destinés aux producteurs se chargeant de la mise en forme de pièces spécifiques et commerciales.

*** Valorisation chimique :** Consiste à 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 ou limitées à certaines natures de résines plastiques. On ne les utilise que dans les pays du Nord et les pays émergents. On distingue trois méthodes:

- Pyrolyse

La décomposition des molécules par chauffage sous vide. Ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.

- L'hydrogénation

C'est le traitement par l'hydrogène et la chaleur des macromolécules qui sont craquées en huiles carbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques.

- Gazéification

Les plastiques sont chauffés en présence d'air ou d'oxygène. Le gaz de synthèse résultant est constitué de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui peut être utilisable dans la production de méthanol, d'ammoniac ou comme agent réducteur dans la production d'acier.

• Facteurs influençant le recyclage du plastique

Les plastiques recyclés ne peuvent pas être utilisés pour faire des emballages alimentaires. Ceci pour éviter la migration possible de substances toxiques sur les aliments. Il existe deux facteurs qui freinent l'utilisation des polymères issus du recyclage, ce sont : - Le fait que la matière obtenue du recyclage de moins bonne qualité que la matière première, et le coût élevé du transport, de la collecte et du tri des plastiques qui rendent le plastique recyclé relativement cher. - On peut aussi noter les additifs ajoutés aux plastiques qui, lors de la revalorisation de la matière altèrent les propriétés des polymères recyclés. Il existe d'autres facteurs qui restreignent le recyclage comme par exemple les plastiques mélangés. En recyclant de telles matières, les polymères perdent leurs caractéristiques et peuvent être potentiellement dangereux pour la santé ou dans les cas des emballages contenant des produits chimiques. La meilleure façon de traiter ces déchets est de les

valoriser en les utilisant par exemple comme catalyseur pour brûler d'autres déchets. Il n'est pas possible de recycler les plastiques souillés. En recyclant ces derniers, il est possible que la souillure présente sur l'objet recyclé contamine l'objet créé et altère celui-ci voire même le rende toxique (**Chrystelle et al, 2013**).

- **Processus de recyclage du plastique (Senegal , 2010)**

Le recyclage du plastique peut être divisé en plusieurs phases :

- a) Réception des matières premières**

Par matières premières est considéré tout matériau en plastique qui peut être recyclé (PEHD, PEBD, PP, PET, PS, ABS...) dans les usines. Le matériau doit être pré-trié selon la qualité et peut provenir de déchets industriels, agricoles et de post consommation. Ces matériaux peuvent arriver dans des boîtes, des sacs, des conteneurs (en vrac) ou en balles

- b) Processus de sélection**

Une fois réceptionnée, notre matière première passe par un rigoureux processus de sélection au cours duquel sont effectuées les étapes suivantes:

- Séparation des matières non aptes en raison de leur typologie**

Sont séparées les matières plastiques différentes de celles utilisées au moment de la consommation par leur qualité du processus, les étiquettes, les matériaux ferreux, les terres, etc. Ce processus nous aide à garantir une qualité optimale, augmenter les capacités de production, éviter une production inefficace et il sert à garder un contrôle sur la matière première fournie par nos sources d'approvisionnement.

- Séparation des couleurs du plastique à consommer**

Cette phase permet d'obtenir une consommation réduite de colorants, ce qui apporte un plus grand bénéfice tant économique qu'environnemental, ainsi qu'une plus grande variété dans les produits finis, en offrant différentes palettes de couleurs.

- * Déchiquetage**

Les pièces sont broyées et déchiquetées dans des broyeurs de grande capacité productive grâce à un ensemble de lames rotatives, les réduisant en petits morceaux selon le diamètre du tamis. Avec le broyage, nous obtenons une granulométrie homogène du plastique, facilitant ainsi le travail ultérieur du transport, du lavage et du séchage.

*** Lavage**

Une fois déchiqueté, le plastique est introduit dans des laveuses industrielles. Des pales remuent l'eau afin que le plastique reste totalement immergé et que les éventuelles impuretés telles que la terre, la pierre, le métal, le carton, le PVC et tous autres matériaux plus denses que l'eau se déposent au fond des laveuses.

*** Séchage et essorage**

Les matières extraites des laveuses passent dans les centrifugeuses qui, en plus des fonctions de séchage, enlèveront complètement toutes les impuretés qui auraient pu encore échapper aux laveuses.

*** Homogénéisation**

Une fois déchiquetée, lavée et séchée, la matière plastique est stockée dans un grand silo où elle est mélangée par un procédé mécanique jusqu'à ce que le matériau soit homogène en termes de couleur, texture et comportement, et prêt pour l'extrusion.

*** Extrusion**

Le corps central de l'extrudeuse comprend un long canon qui, grâce à la chaleur et la friction de son axe interne, permet la plastification de toutes les particules créées antérieurement, avec pour résultat une pâte uniforme. Les polymères sont ainsi fondus grâce à la chaleur. C'est à ce moment que l'on ajoute la couleur nécessaire demandée par nos clients pour répondre à leurs besoins.

*** Filtrage**

Avec la texture et la fluidité nécessaire, le plastique subit encore un processus de filtrage (un système de mailles très fines qui retiennent toutes les impuretés qui auraient pu rester collées à la matière lors des processus antérieurs : résidus de carton, petits morceaux de bois, de tissu ou d'autres matières incompatibles. Lorsque ces mailles se salissent, elles sont remplacées automatiquement par d'autres mailles propres).

*** Granulé**

Le plastique sort de la tête de l'extrudeuse sous la forme de monofilaments ou de fils qui se refroidissent au contact de l'eau placée dans la cuve. Les fils passent par la filière où ils sont coupés par une lame rotative. Ce processus permet d'obtenir le grain ou le granulé adéquat demandé par nos clients, adapté à leurs besoins lors de l'achat de granulés.

*** Conditionnement**

La production de granulés est divisée en lots. Chaque lot est analysé au laboratoire, les caractéristiques telles que la fluidité, la densité, les cendres... Cela permet d'assurer une qualité homogène de nos produits. Les granulés sont projetés depuis l'extrudeuse, par un système pneumatique au moyen d'un ventilateur électrique, jusqu'à un réservoir ou un silo où un cyclone supprime l'humidité résiduelle. Ultérieurement et en fonction des besoins que chaque client nous aura définis, le produit est emballé dans des sacs (Big Bag) ou des sacs de 25 kg.

*** Stockage**

Un bon stockage du produit fini est essentiel pour éviter les éventuels dommages : chocs, rigueurs climatiques, détérioration, etc., afin d'atteindre un degré maximum d'acceptation du client. La capacité de stockage de produit fini est supérieure à 10 000 m² et cela permet d'offrir le traitement le plus approprié à la large gamme de produits fabriqués dans ces usines.

*** Logistique**

Le matériau est prêt à être retiré par le client lui-même ou bien pour une livraison à destination grâce à la flotte de véhicules industriels dont la zone de couverture est nationale.

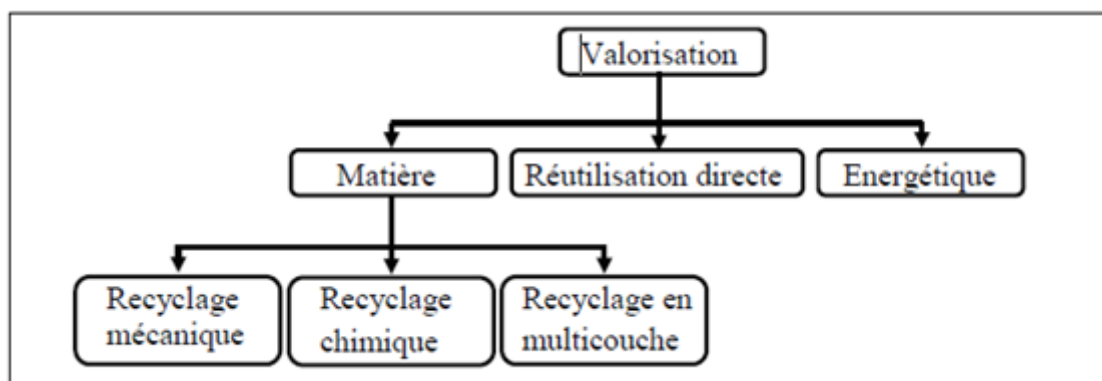


Figure 12. Schéma de principe de valorisation

Partie pratique

Chapitre I : Matériel et Méthodes

1. Préparation d'enquête (annexe 05)

On a réalisé un questionnaire de 8 questions distribué dans deux régions situées à El-Oued (Djamâa et Tendla) sur 35 familles, l'une de ces questions est basée sur le type d'emballage plastique utilisé, autre est menée pour connaître la matière conservée dans ce type d'emballage, et une autre question posée pour connaître le type d'emballage selon la matière d'origine emballée, une question proposée pour découvrir la durée d'utilisation d'emballage plastique dans le domaine ménager.

2. Présentation d'emballage et l'échantillon utilisé

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physicochimiques de l'eau de robinet (région Djamâa) conservée dans deux modèles d'emballages industriels des produits chimiques (solide, et liquide), qui font partie de deux types de matières plastiques différentes (**Figure 13**).



Figure 13. Modèles d'emballage plastique utilisé; **A:** Emballage plastique de type PolyPropylène pour emballer le chlorure de calcium (CaCl_2), **B:** emballage plastique de type polyéthylène Haute Densité pour emballer le laureth sulfate de sodium ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$). (photo originale)

* **Conservation des échantillons :** Après la récupération les emballages en plastique, on les nettoie par l'eau chaude et avec la pression de l'eau, par la suite on les met pour le

séchage à l'abri de la lumière pour quelque jour. On remplit les deux types d'emballage (HDPE et PP) de l'eau de robinet (Djamâa) au même jour de remplissage (08 Avril 2020) de l'échantillon d'eau témoin qui a été conservé dans un récipient en verre, pendant une période de deux (2) mois de conservation sous soleil. Le prélèvement des échantillons à analyser doit être effectué rapidement en transportant les échantillons dans une glacière à une température de 4°C afin d'éviter toute sorte de contamination ou changement pendant le transport des échantillons de point de prélèvement jusqu'au laboratoire d'après (**Rodier et al, 2009**). Les analyses physicochimiques ont été réalisées au sein du laboratoire Expro Analytical Data Services de Hassi Messaoud.

3. Analyses physicochimiques

3.1. PH

Le PH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acidité carbonique, et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C (**Hamed et al, 2012**).

- ✓ Une solution de $pH = 7$ est dite neutre ;
- ✓ Une solution de $pH < 7$ est dite acide ; plus son pH s'éloigne de 7 (diminue) et plus elle est acide ;
- ✓ Une solution de $pH > 7$ est dite basique ; plus son pH s'éloigne de 7 (augmente) et plus elle est basique.

• Réactifs

Solution tampon, eau distillée, eau à analyser.

• Matériels

Papier absorbant, pissette, bécher, appareil de mesure.

• Mode opératoire

- ✓ Brancher l'appareil, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil ;

- ✓ Etalonner l'appareil avec la solution tampon et par la suite rincer l'électrode avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser ;
- ✓ Remplir le bécher avec l'eau à analyser ;
- ✓ Emerger l'électrode dans l'échantillon et mettre l'appareil en mode pH et appuyer sur la touche « READ », attendre le signal sonore, puis noter les valeurs du pH et de la température affichée.

3.2. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner selon les cas, un gout salé (variable selon la nature des sels présents), une concentration de la corrosion, et les dépôts dans les tuyauteries (entartrage)

• Mode opératoire

- ✓ Brancher l'électrode correspondant à la mesure, puis rincer cette électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser.
- ✓ Emerger l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon, mettre en mode conductivité;
- ✓ Appuyer sur la touche « READ » et la valeur s'affiche.

3.3. Salinité

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau. Un composé ionique ou solide ionique cristallin est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anion (ion chargés négativement) régulièrement disposés dans l'espace. Globalement, un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin possède une formule statistique qui indique la nature et la proportion des ions présents sans en mentionner (**Hadef et al, 2017**).

• Mode opératoire

Pour mesurer ces paramètres, on utilise le même appareil : le conductivité-mètre. L'analyse est effectuée par immersion directe de l'électrode dans les flacons porteurs

d'échantillons après avoir noté la conductivité, appuyer sur la touche « SAL » et noter la valeur affichée (sans oublier de rincer rigoureusement l'électrode après chaque mesure).

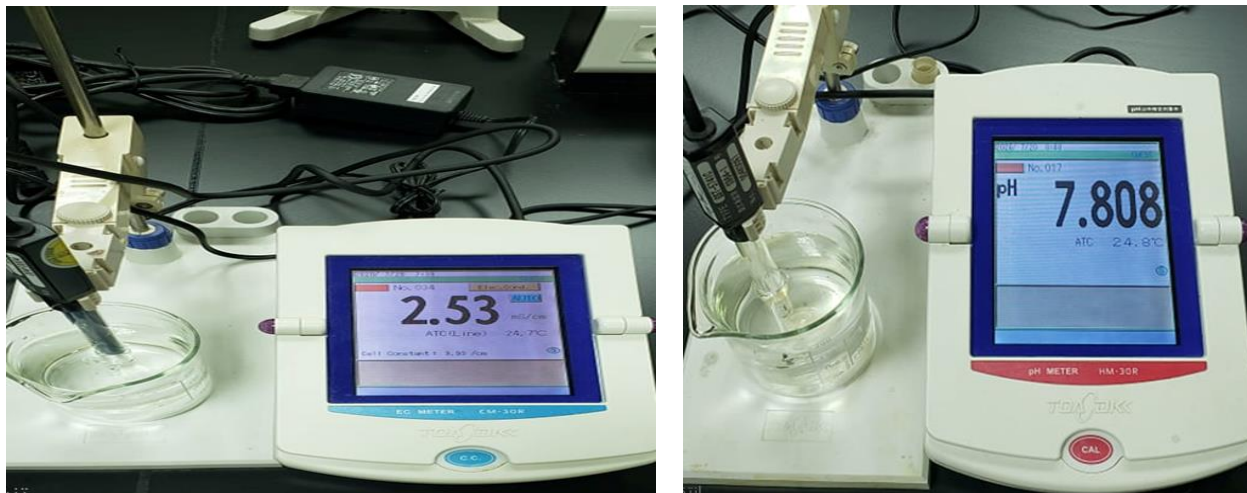


Figure 14 . Appareil de mesure, pH, conductivité électrique et salinité (photo originale)

4. Dosage des éléments métalliques

L'analyse de ces paramètres (toxique et de pollution) s'effectue par une méthode spectrophotométrique, en utilisant l'appareil (LENGE DR 3900) (**figure 15**) en appliquant les normes algériennes pour les analyses des eaux destinées à la consommation humaine.

4.1. Principe de la spectrophotométrie UV-visible

Le spectrophotomètre est un appareil permettant de mesurer l'absorbance d'une solution, pour différentes longueurs d'ondes. Pour cela, il fait passer un rayon d'une longueur d'onde choisie à travers une cuve contenant la solution à étudier. Les molécules de la solution absorbent plus ou moins le rayon lumineux, on définit alors l'absorbance pour cette longueur d'onde (**Haddou, 2010**).



Figure 15. Appareil de spectrophotométrie UV-visible ; LENGE DR 3900 (photo originale).

4.2. Méthodes de dosage

4.2.1. Dosage du Cadmium

Le cadmium est un élément non essentiel à l'organisme de symbole Cd naturellement présent dans l'environnement sous forme de traces dans la croûte terrestre en combinaison avec d'autres éléments. C'est un élément très toxique. Il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes vivants (Casas , 2005).

✓ Réactifs

- réactif A
- réactif B

Le tube Cadmium se compose de chloramide B, d'hydrogène et de phosphate de sodium, d'hydrogène et de phosphate de potassium, d'acide bisulfique -1, 3 diméthyl, les mesures de la concentration du Cd est s'effectués comme suite :

✓ Mode opératoire

- Placer 10 ml d'eau d'échantillon dans un tube à essai vide
- Ajouter 1 ml de réactif A (**EA308F**) A
- Fermez le tube et secouez-le
- Ajouter 0,4 mL de réactif B(**EB 308G . GE1010A**) B au tube réactif pour le cadmium
- Fermez le tube, et secouer
- Nous prenons 4 ml du premier tube à essai et l'ajoutons au tube de réaction
- Nous secouons le tube et le laissons reposer pendant 30 secondes donnant une coloration mauve
- On lire en spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda = 228,8\text{nm}$ (norme **ISO 9001**)



Figure 16. Réactifs B C(photo originale).

4.2.2 Dosage du plomb (Pb)

Le plomb est un élément de symbole Pb que l'on retrouve dans tous les compartiments environnementaux ; bien qu'il soit naturellement présent dans l'environnement terrestre et aquatique, la plus grande source provient des activités humaines. Malgré son importance industrielle, l'utilisation de plomb a connu une grande réduction dans plusieurs champs d'applications dans les pays développés, à cause de ses effets toxiques (Ziane et al, 2013).

✓ Réactifs

Le tube de plomb se compose de cyanure de potassium, silicate de sodium, le dosage s'effectue par les étapes suivantes :

✓ Mode opératoire

- Placer 10 ml d'eau d'échantillon dans un tube à essai vide.
- Ajouter une cuillère à café de réactif (**A EA306C. GE1009A**)
- Fermez le tube puis secouer.
- Laisser reposer le tube pendant 2 minutes.
- Prenez le tube de réactif et ajoutez 1,5 ml de réactif (**B EB306D**).
- Nous prenons 4 ml du premier tube à essai et l'ajoutons au tube de réactif.
- Nous secouons le tube et le laissons reposer pendant 2 minutes.

- Ajouter 0,3 ml de réactif (C EC306C . GE1010A)
- On secoue le tube et on le laisse reposer 1 minute donnant une coloration marron.
- On lire l'absorbance dans le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 283,3 nm (norme **ISO (ISO9001)**). Les résultats sont exprimés en milligrammes de plomb par litre.

4.2.3 Titane

Le titane est un métal léger dont la masse volumique ($4,5 \text{ g/cm}^3$) se situe entre celles de l'aluminium ($2,7 \text{ g/cm}^3$) et du nickel ($8,9 \text{ g/cm}^3$) ou du fer ($7,8 \text{ g/cm}^3$). Le titane et ses alliages sont aujourd'hui des matériaux d'usage courant dans, l'industrie chimique et dans le domaine médical (**Kim, 1994**).

4.2.4. Cobalt

Le cobalt (Co) est l'élément n° 27 du tableau de Mendeleïev. C'est un métal de transition voisin du fer et du nickel. C'est un élément peu abondant de l'écorce terrestre le cobalt est de couleur gris-argenté de densité et de dureté moyennes. sa toxicité qu'à des doses dépassant largement les doses d'exposition usuelles. Les usages du cobalt se répartissent de la manière suivante :

batteries rechargeables : 38 % ; superalliages : 20 % ; carbures cémentés et outils diamantés : 10 % ; catalyseurs : 9 % ; céramiques et émaux (pigments) : 8 % ; aimants permanents : 5 % ; agent séchant et pneumatiques : 3 % (**Réa Ad-hoc Working Group European Commission, 2010**)

4.2.5. Nickel

Le nickel (Ni) est un métal qui a un poids atomique de 58,71. Sa concentration moyenne dans la terrestre est estimée à 60-90 mg/kg mais sa présence est relativement faible dans les roches acides et forte dans les roches basiques et les roches ultrabasiques (**HSDB, 2003**).

✓ **Principe:** Lorsque un échantillon acidifié est aspiré dans une flamme air /acétylène d'un faisceau lumineux d'une longueur d'onde donnée, traverse la solution, une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé à déterminer.

✓ **Appareillage** : Spectromètre d'absorption atomique : Perkin Elmer Analyst 700, Equipé de lampes a cathode creuse, d'un dispositif (Lampe Deutérium) permettant la correction de l'absorbance non spécifique et d'un ensemble «nébuliseur bruleur de 100mm» a flamme d'air /acétylène.

✓ **Matériel**

1) Fioles jaugées : de capacité, (100 ml),

2) Pipettes a un trait: de capacité 2ml,

3) Micropipettes 1, ml

4) Micropipettes (1,0 - 5,0 ml)

5) Béchers : de capacité 250m l.

6) Erlenmayer de capacité 250 a 300ml (6) Dispositif de filtration a membrane avec filtres : de diamètre de pores 0.45 µm, lave Soigneusement a l'acide nitrique dilue et rince a l'eau.

(7) Papier filtre standard 100mm

(8) Eprouvette de 100ml

✓ **Réactifs**

- Acide nitrique

- Peroxyde d'hydrogène

- Standard de Nickel

- Acide chlorhydrique

✓ **Prétraitement de l'échantillon**

Les échantillons sont recueillis dans des récipients en verre borosilicate ou en polyéthylène préalablement lavés a l'acide nitrique et a l'eau. Filtrer l'échantillon d'eau des que possible après l'échantillonnage sur une membrane de diamètre de pore 0.45µm. la préparation des échantillons à analysés est comme suite :

a) Stabiliser le filtrat, on ajoute 10ml d'acide nitrique par litre d'échantillon pour obtenir un pH inferieur à 2, si nécessaire, rajouter de l'acide jusqu'a obtention du pH voulu.

b) Homogénéiser l'échantillon, par exemple, en le agitant énergiquement.

- c) Introduire 100ml de l'échantillon homogénéisé dans un bécher de 250ml. Ajouter 2 à 5ml d'acide nitrique et 1 à 2ml de peroxyde d'hydrogène.
- d) Chauffer le becher sur une plaque chauffante afin de concentrer le mélange, jusqu'à environ 0,5ml.
- e) Il est essentiel que l'échantillon ne soit pas réduit à sec
- f) En cas d'importante contamination organique de l'échantillon d'eau rajouter du peroxyde d'hydrogène avec précaution.
- g) Dissoudre le résidu dans 1ml d'acide nitrique et un peu d'eau puis transférer dans une fiole jaugée de 100ml après filtration sur le papier filtre standard, et en fin compléter au volume avec de l'eau distillée.
- h) Effectuer, parallèlement au dosage, un essai a blanc (témoin), en utilisant la même procédure et les mêmes quantités de réactifs que pour les échantillons à dosés en remplaçant la prise d'essai par l'eau distillée.

✓ **Mesure**

Avant d'effectuer les mesures, régler les paramètres de spectromètre d'absorption atomique selon les instructions du fabricant.

- 1) Optimiser les conditions de la flamme.
- 2) Régler le zéro de l'appareil en pulvérisant dans la flamme la solution de réglage du zéro de l'appareil.
- 3) Etalonnage: pour établir la courbe d'étalonnage, pulvériser successivement dans la flamme les solutions d'étalonnage par ordre croissant de concentration et noter.
- 4) Le dosage du Nickel ,Cobalt, et Titane par spectromètre d'absorption atomique avec une flamme selon les ISO 8288, avec le changement des cathodes creuses et les solutions d'étalon méré, avec les longueurs d'onde suivantes :

Nickel: 232nm

Cobalt: 240.7nm

Titane: 590nm.

4.2.6. Dosage du fer

Le Fer (Fe) est un métal essentiel, entre dans la composition de nombreux alliages dont les aciers inoxydables. Il est utilisé dans les machines et ustensiles divers utilisés quotidiennement. Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, sa présence dans l'eau peut avoir diverses origines : lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol; rejets industriels (pollutions minières, métallurgiques, sidérurgiques); corrosion des canalisations métalliques (en fonte ou en acier) ou existence de dépôts antérieurs (**Beaumont et al, 2000**)

✓ Principe

Pour le dosage du fer total et du fer dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} . En présence du fer non dissous, des oxydes de fer ou des complexes du fer, un prétraitement est nécessaire pour mettre ces composés en solution. L'addition d'une solution de phénanthroline-1,10 donne un complexe rouge-orange qui est détecté à une longueur d'onde de 248.3nm.

✓ Réactifs (voire de anaxe4)

- Acide sulfurique pur (1,84 g/ml).
- Acide sulfurique (4,5 mg/l).
- Acide chlorhydrique HCl.
- Solution acétate tampon.
- Solution chlorhydrate d'hydroxylamine.
- Solution de phénanthroline-1,10.
- Solution mère du fer a 0,1g/l.

✓ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique.
- Mélanger bien et ajouté 2 ml de la solution acétate tampon.
- Ajouter 2 ml de la solution phénanthroline-1,10.

- Ajouter 2 ml de la solution mère du fer.

✓ **Expression des résultats**

Le résultat est exprimé en mg/l (ISO 6332)

4.2.7. Dosage du Cuivre

Le cuivre est un métal de symbole Cu, appartient au groupe 11 du tableau périodique, c'est un métal de transition malléable et ductile de couleur rouge, ses numéro et masse atomiques sont $Z = 29$ et $M = 63.546 \text{ g.mole}^{-1}$, qui se présente sous forme de sels dans l'écorce terrestre ; sa production augmente chaque année au niveau mondial. Le cuivre est un métal industriel qui possède des propriétés particulières, lui donnant un grand nombre d'avantages, par conséquent, il est irremplaçable dans plusieurs applications industrielles. Une certaine quantité de cuivre est nécessaire pour le bon fonctionnement de l'organisme humain, cependant des effets délétères peuvent être le résultat d'une exposition massive au cuivre ou à ses dérivés (**Belabed,2010**)

✓ **Réactifs**

- Cuivre métal.
- Acide nitrique concentré 65 % .
- Acide nitrique dilué 1/2 (v/v).
- Solution de cuivre à 1 g/l ; Utiliser une solution standard de cuivre. Cette solution peut être préparée en pesant 1,000 g de cuivre métal, qui est transféré quantitativement dans une fiole jaugée de 1000 ml. Ajouter de l'acide nitrique dilué 1/2 en quantité strictement suffisante pour dissoudre le métal, ajouter 10 ml d'acide nitrique concentré, porter au trait repère avec de l'eau distillée.
- Solution de cuivre à 100 mg/l. Prélever 10 ml de la solution et la placer dans une fiole jaugée de 100 ml en complétant le volume avec de l'eau distillée.
- Eau distillée.

✓ **Mode opératoire**

- Prélever 20 ml de l'échantillon, et les placer dans une fiole jaugée de 100 ml et amener au trait repère avec de l'eau distillée.
- Modifier la dilution si nécessaire.

- Lire au spectrophotomètre, à une longueur d'onde de 324,8nm (**Méthode OIV-MA-AS322-06**)

4.2.8. Dosage du Chrome

Le chrome est un élément chimique de symbole Cr et de numéro atomique 24 son étymologie vient du grec chroma signifiant couleur, car les composés du chrome font partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur grise acier-argenté. Il résiste à la corrosion. Cet élément est également utilisé dans les industries chimiques où il sert de catalyseur dans les synthèses organiques, dans l'industrie des peintures et colorants, dans l'industrie du bois, du pétrole, les industries agroalimentaires (Zhong,2017)

✓ **Réactifs**

✓ **Préparation de solution d'acide sulfurique**

Verser 100 ml d'acide sulfurique dans 100 ml d'eau. Après refroidissement, transvaser dans une fiole jaugée de 1 L. Ajuster le volume.

✓ **Préparation de solution acide diphenylcarbazide**

Dissoudre 0,2 g de 1,5-diphenylcarbazide chimiquement pure dans un volume de 100ml d'alcool éthylique à 95°. Après ajouter 400 ml de solution d'acide sulfurique à 176 g/L. Conservée au réfrigérateur dans un flacon teinté, cette solution est stable un mois environ.

✓ **Préparation de la solution mère**

La solution mère du chrome à une concentration de 1 g/L a été préparée en mélangeant une quantité de 2,829 g de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) avec 1000 ml d'eau distillée.

✓ **Mode opératoire**

Dans des fioles jaugées de 50ml bouchées à l'émeri et numérotées, introduire 5ml de solution mère avec 10ml d'échantillon d'eau et 3ml de solution acide diphenylcarbazide successivement, en agitant après chaque addition donnant une coloration jaune puis lire en spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540nm (norme **XPT 90-210**).

4.2.9. Dosage de fluorure

Le fluor est un élément de la famille des halogènes, de numéro atomique $Z=9$ et de masse atomique égale à 19 très répandu dans la croûte terrestre et est présent aussi bien dans l'air, les aliments que dans les eaux naturelles. Il ne se rencontre jamais à l'état libre dans la nature en raison de sa grande réactivité, il se présente sous forme de fluorures. Selon la concentration du fluor absorbé, il peut être bénéfique ou néfaste pour la santé de l'homme. Comme tout oligo-élément, l'ion fluorure est bénéfique pour l'organisme humain à de faibles taux mais, dès que sa concentration est trop importante, il s'avère toxique et conduit à des fluoroses dentaires et osseuses (Tressaud; 2011)

✓ **Réactifs (voire annexe3)**

- Solution-standard de fluorures
- Réactif zirconium-alizarine
- Mélange acide
- Réactifs *Scott-Sanchis*
- Arsénite de sodium (0,5%).

• **Processus d'analyse de fluorures**

Préparation des standards et de l'échantillon :

- a) prendre 7 tubes de Nessler de 100 ml;
- b) remplir le 1er tube avec de l'eau distillée (blanc);
- c) pipeter dans le 2^{ème} tube 2 ml de la solution standard de fluorures.
- d) pipeter dans le 3^{ème} tube 4 ml de la solution standard de fluorures.
- e) pipeter dans le 4^{ème} tube 6 ml de la solution standard de fluorures.
- f) pipeter dans le 5^{ème} tube 8 ml de la solution standard de fluorures.
- g) pipeter dans le 6^{ème} tube 10 ml de la solution standard de fluorures.

h) remplir le 7^{ème} tube avec 100 ml d'échantillon ou un aliquote dilué à 100 ml. S'il y a du chlore dans l'échantillon, l'enlever en ajoutant 0,1ml (2 gouttes) de solution d'arsénite de sodium pour chaque mg/l de chlore;

- i) diluer les standards de 2 à 6 à 100 ml avec de l'eau distillée;

j) ajuster la température des standards et de l'échantillon;

k) ajouter dans chaque tube, même le blanc, (1^{er} tube) 5ml du réactif *Scott-Sanchis*;

l) mélanger et laisser reposer pendant une heure;

m) une heure après avoir ajouté le réactif *Scott-Sanchis*, comparer l'échantillon avec les standards et la lecture s'effectue à une longueur d'onde de 620nm donne les résultats sont exprimés en mg F/L (norme **ISO : 10359-2**).

5. Analyse statistique et présentation de l'SPSS

Le SPSS est un logiciel qui offre de multiples possibilités pour gérer entièrement le processus analytique. Il permet de réaliser aussi bien des tableaux que des diagrammes, des camemberts ou autres éléments de statistiques et de partager les résultats avec d'autres personnes. Il permet de faire des analyses de données complètes et de les interpréter rapidement sous la forme de statistiques.

SPSS peut être utilisé dans un très grand nombre de domaines et activités. Ses applications sont extrêmement variées. Il est utilisé aussi bien par les services de ressources humaines que par des sociologues, des étudiants, de nombreux professionnels de différents secteurs utilisent SPSS en raison de la présence de toutes les fonctionnalités utiles pour mener à bien une étude statistique.

Nos résultats de l'enquête sont traités par ce logiciel pour but de déterminer les fréquences et les pourcentages de chaque réponse reçu, de même que la partie d'analyse physicochimique, on a réalisé un test de corrélation (corrélation de Pearson) pour objet d'identifier la relation entre les paramètres physicochimique de l'eau (PH, conductivité électrique, et la salinité) et les éléments métalliques dosés tel que Fer, Cd, Cr, Cu...

CHAPITRE II

Résultats et discussion

1. Analyses des enquêtes

Dans cette étude nous avons réalisé un questionnaire sur 35 familles habitent dans deux régions située à El-Oued (Djamâa et Tendla), pour un objet de déterminer les différents types d'emballage plastique utilisé dans leur vie quotidienne et de connaître l'objectif et les causes, mode, et la durée, et la culture générale sur l'utilisation de ce type d'emballage. Le questionnaire est présenté dans l'Annexe 06.

La première question est basée sur le type d'emballage plastique utilisé, Nous avons enregistré deux réponses différentes parmi elles 20 familles utilisent le PEHD avec un pourcentage de 54,1% de réponses, et 26 familles utilisent le PP avec un pourcentage de 74,3% de réponses, on note qu'il existe des réponses commun (**Tableau 08**).

Tableau 08: Différents types d'emballage plastique utilisés dans les régions étudiées.

Type	Fréquence	pourcentage
PEHD	20	57,1
Pp	26	74,3

La deuxième question est menée pour connaître la matière conservée dans ce type d'emballage la plus part des familles conservent l'eau de robinet et certains produits alimentaires comme le café, thé, épices..etc. 100% des familles utilisent ces emballages pour conserver l'eau de robinet, et le même pourcentage pour conservés les produits alimentaires (**Tableau 09**). On constate que la totalité des familles questionnées utilisent les emballages plastiques (PEHD et PP) pour un usage ménager sensible, c'est le stockage des denrées alimentaires, qui diffèrent par leurs propriétés physicochimiques, notamment liquides et solides, acide-base et autres propriétés pouvant provoquer une réaction entre le contenant et le contenu.

Tableau 09: Différentes matières domestiques conservées dans les emballages plastiques dans les régions étudiées.

Matière	Fréquence	Pourcentage
Eau de robinet	35	100
Produits alimentaires	35	100

Une autre question posée pour connaître le type d'emballage selon la matière d'origine emballée, Nous avons obtenu deux types de réponses: 100% ont déclaré que le matériau d'origine auquel le conteneur était destiné était des denrées alimentaires et d'autres ont dit qu'il s'agissait de produits chimiques avec un pourcentage de 28,6% (**Tableau 10**). Cela nous explique que certaines familles utilisent des contenants en plastique au hasard sans prendre en compte certaines particularités.

Tableau 10: Différents types d'emballages utilisés selon la matière d'origine emballée

Type d'emballage	Fréquence	Pourcentage
Alimentaire	35	100
Chimique	10	28,6

Une question proposée pour découvrir la durée d'utilisation d'emballage plastique dans le domaine ménager, 2 familles avec 5,7% utilisent ces récipients pendant 1 mois, 28 familles avec un pourcentage de 80% les utilisent pendant plusieurs mois et 9 familles atteignent à une année ou plus. Cela confirme que les familles ne sont pas conscientes qu'il existe des instructions d'utilisation spécifiques pour l'utilisation du plastique, tel que le nombre de réutilisation, l'âge du plastique....etc.

Tableau 11: Durée d'utilisation des récipients en plastique chez les familles étudiées

Durée	Fréquence	Pourcentage
1 mois	2	5,7
> 1mois	28	80
1 année	9	25,7
> 1 année	26	74,3

2. Paramètres physico-chimiques

Les résultats de dosage des paramètres de la qualité de l'eau représentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Fiche des analyses physicochimique de l'eau

Parameters	Ech 1 (polyéthylène HD)	Ech 02 (propylène)	Ech Témoin
PH	7.56	7.80	7.90
Conductivité	2530us/cm	2510 us/cm	2470us/cm
Salinité	mg/1585	555 mg/l	mg/l 503
Cadmium	0.006 mg/l	0.006mg/l	0.004 mg/l
Plomb	0.14 mg/l	0.12 mg/l	0.8 mg/l
Nickel	0.06mg/l	0.05 mg/l	0.03 mg/l
Fer	0.082 mg/l	0.073 mg/l	0.067mg/l
Cuivre	1.5mg/l	1.3 mg/l	1 mg/l
Chrome	0.07 mg/l	0.10 mg/l	0.07mg/l
Fluore	1.5 mg/l	1.6 mg/l	1.4 mg/l
Titan	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
Cobalt	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l

2.1. pH

Les résultats obtenus par le mesure de pH représentés dans la (**Figure 17**), nous permettent de noter une valeur de 7,56 dans l'échantillon d'eau conservé dans l'emballage PolyÉthylène Haute Densité (PEHD) et de 7,80 dans l'échantillon conservé dans l'emballage Polypropylène (PP), avec une valeur maximale de 7,90 dans l'échantillon témoin.

On constate que les valeurs de pH des deux échantillons de l'eau conservés dans l'emballage PEHD et l'emballage PP sont inférieurs à la valeur de l'échantillon de l'eau témoin. De même que la valeur de l'échantillon conservé dans PEHD est inférieure à la valeur de l'échantillon d'emballage PP. Les trois échantillons étudiés ne dépassent pas la norme algérienne qui fixe une valeur compris de 6,5-9.

C'est l'un des paramètres les plus importants pour l'évaluation de la qualité d'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau (**Rodier, 2009**).

L'effet du pH sur l'absorption des métaux a été particulièrement étudié (**Balistrieri & Murray, 1984; Tessier et al, 1985; Basta & Tabatabai, 1992, 1989; Tada & Suzuki,**

1982; Dhillon *et al*, b; Zhu & Alva, 1993). Ainsi, une augmentation du pH favorise l'adsorption métallique sur la fraction réductible (oxydes de fer et de manganèse) après échange des cations métalliques avec les ions H^+ sur certains sites de surface.

Nos résultats sont cohérentes avec les résultats enregistrés par **Derbal et Soltana (2019)** dans une étude sur le même sujet où ils ont noté des valeurs de pH de 7,59 dans l'échantillon d'eau conservé dans l'emballage PP et de 7,11 dans l'emballage PEHD qui sont inférieurs à celle de témoin (7,60).

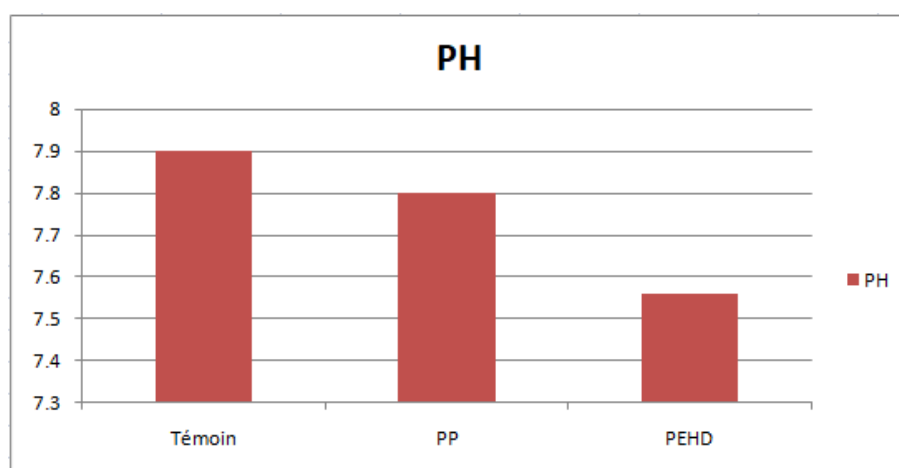


Figure 17. Valeurs de PH des échantillons d'eau étudiés

2.2. Conductivité (CE)

La conductivité électrique de l'eau est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ,.....) qui sont formées par la solution des sels minéraux dans l'eau. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (**HCEFLCD, 2006**).

Les résultats obtenus par le mesure de la conductivité électrique représentés dans la (**Figure18**), qui nous permettent d'enregistrer une valeur moyenne minimale de $2470\mu S/cm$ dans l'échantillon témoin, et de valeur $2530\mu S/cm$ dans les échantillons conservés dans l'emballage plastique PEHD et avec $2510\mu S/cm$ dans les échantillons conservés dans l'emballage PP.

Les résultats obtenus indiquent que la conductivité dans les échantillons conservés dans les emballages plastiques utilisés est supérieure à celle de l'échantillon témoin. **Rodier et al (2009)**, signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium (Ca^{2+}), de

sodium (Na^+), de chlorures (Cl^-)...etc. généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solutions et la température (**Dib, 2009**).

Nôtres valeurs enregistrées ne dépassent pas la norme algérienne qui est de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. ces résultats sont similaires aux résultats trouvés par **Derbal et Soltana (2019)**, ont enregistré des valeurs de 4910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les échantillons conservés dans l'emballage plastique et de 4130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le témoin.

On constate que les deux échantillons conservés dans l'emballage seront très riches en ions probablement due à l'interaction entre l'eau conservée et l'emballage ou bien capable de provoquer, augmenter, et favoriser l'interaction.

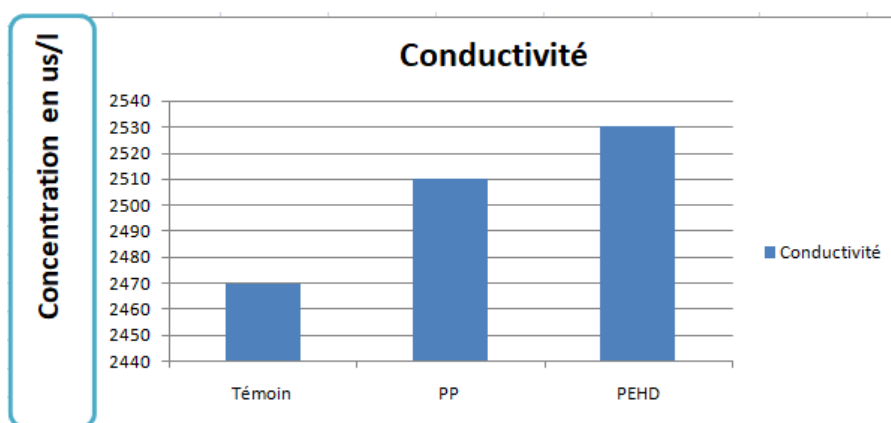


Figure 18. Valeurs de conductivité des échantillons d'eau étudiés

2.3. Salinité

La salinité traduit le caractère salin de l'eau, elle varie considérablement d'une saison à une autre et d'une région à une autre. Les résultats obtenus par les mesures de salinité sont représentés dans la (**figure 19**). La salinité de l'eau conservée dans l'emballage PEHD est de 585mg/l, de 555mg/l dans le PP, qui sont supérieurs à celle trouvée dans l'échantillon témoin de 503mg/l. Les Normes Algériennes ne fixent pas une valeur pour ce paramètre.

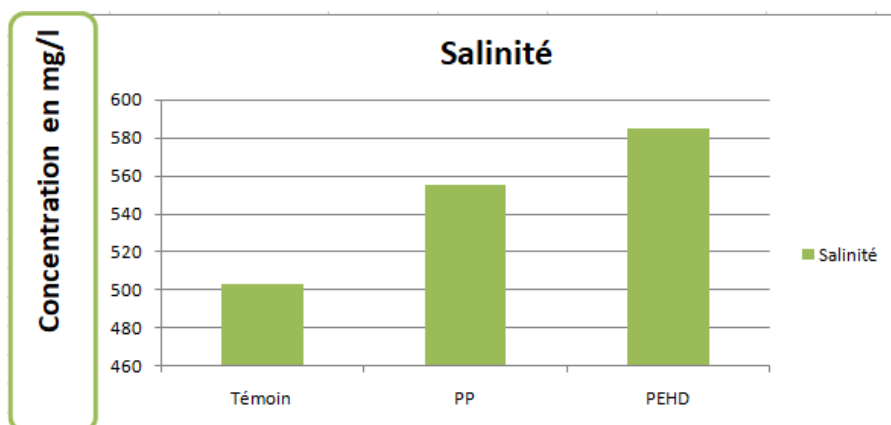


Figure 19. Valeurs de salinité des échantillons d'eau étudiés

3. Dosage des éléments métalliques

3.1. Cadmium

Les usages de Cd se situent principalement en électricité (accumulateurs), en électronique, en métallurgie (traitement des surfaces par cadmiage) et dans l'industrie des matières plastiques (stabilisateur de polymères) (**Ramade, 1992**). En raison de ses propriétés physicochimiques, le cadmium a été utilisé de façon répandue pour la fabrication de pigments (jaune et rouge de cadmium), de stabilisants, d'alliages et surtout pour la production de batteries rechargeables nickel-cadmium.

Les résultats d'analyse de cadmium représentés dans (**Figure 20**), montrent une valeur de 0.006 mg/l dans les deux échantillons d'eaux conservés dans l'emballage (PolyÉthylène Haute Densité(PEHD) et (Polypropylène (PP), qui est supérieur à celle trouvée dans le témoin avec une valeur de 0,004 mg/l. Les concentrations du Cd dans les trois échantillons d'eaux étudiés sont supérieures à la valeur limite de la norme algérienne du Cd dans l'eau de consommation dont de 0,003mg/l (**Norme algérienne, 2011**).

Ces résultats confirment qu'il y avait une interaction entre l'emballage plastique PP et PEHD et l'eau conservée, cela signifie que le stockage de l'eau destinée à l'usage humain dans des récipients en plastique rend les gens plus exposés à ce métal.

Une étude a montré que le Cadmium a des caractéristiques chimiques proches de celles du Calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Chiffolleau et al., 2001**). L'organisation mondiale de la santé a indiqué qu'une exposition prolongée au cadmium chez l'Homme peut induire une atteinte rénale, une fragilité osseuse, des effets sur l'appareil respiratoire, des troubles de la reproduction ainsi

qu'un risque accru de cancer. Il est aussi suspecté d'entraîner des effets sur le foie, le sang et le système immunitaire (WHO, 2004).

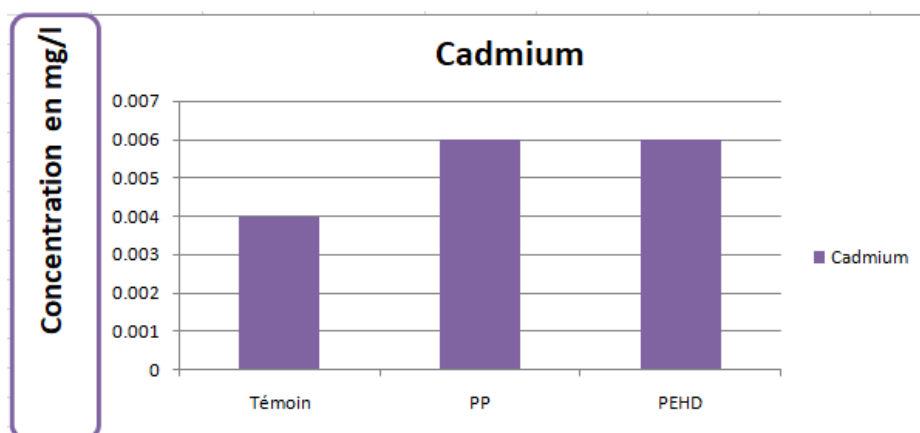


Figure 20. Valeurs de cadmium des échantillons d'eau étudiés

3.2.2. Plomb

Le plomb est un métal lourd se trouvant naturellement dans l'environnement (érosion des roches plombifères) et qui a de nombreux usages industriels. Avec des propriétés mécaniques remarquables (malléabilité, ductilité...), le plomb a été utilisé pour l'élaboration de canalisations. On le retrouve dans les produits de consommation (fournitures d'artistes, pigments, fixation et ornements des vêtements, etc.), dans les accumulateurs et les batteries, les peintures, carburants pour moteur et comme antidétonant (Ministère de la santé du Canada, 2007).

Le dosage de plomb nous permet d'enregistrer une valeur de 0,12 dans l'eau conservée dans l'emballage de type PP, et de 0,14 pour celle conservée dans l'emballage PEHD, avec une valeur de 0,8 mg/l dans le témoin (Figure 21).

Les concentrations trouvées dans les échantillons conservés dans les deux types d'emballage plastique sont supérieures à ceux dans le témoin. De même que, la concentration dans l'emballage PEHD est supérieure à celle dans l'emballage PP.

Les résultats trouvés dans les trois échantillons étudiés sont supérieurs à la valeur limite qui est de 0,01 mg/l de Pb dans l'eau de consommation.

On constate que les contenants en plastique peuvent libérer le Pb dans l'eau stockée, mais l'emballage de type PEHD est plus dangereux que celui de type PP. Dans cette étude, nous avons observé que les valeurs enregistrées dans tous les échantillons atteignent le seuil de toxicité. Selon Gaujous (1995), Sur l'organisme, la toxicité est aigue à partir de 0,1 mg/l et il se concentre le long de la chaîne alimentaire.

Plusieurs études ont montrés l'effet de Pb sur l'organisme humain. (**GARNIER, 2005**), l'exposition chronique ou répétée au plomb provoque des effets toxiques sur plusieurs organes. Les principaux effets sont neurologiques, néphrologiques et hématologiques et neurologiques. Le plomb inhibe l'activité de plusieurs enzymes catalysant la synthèse de l'hème.

De même que **Casas (2005)**, Chez l'homme, le Pb est un poison cumulatif responsable du saturnisme et il est toxique dans l'organisme sous toute sa forme. En général, le Pb est administré dans l'organisme et quotidiennement par l'air, l'eau, les aliments et la cigarette.

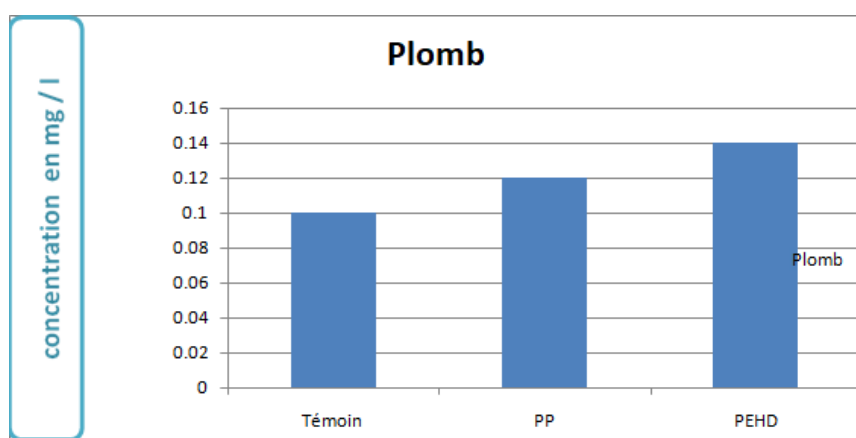


Figure 21 .Valeurs de plomb des échantillons d'eau étudiés

3.3. Titane et Cobalt

Il n'y avait aucune trace de ces éléments dans les trois échantillons de notre étude (PP, PEHD, Témoin) alors ils étaient négligés.

3.4. Nickel

Le nickel est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre. Il est largement utilisé pour la fabrication de l'acier inoxydable et pour la production d'alliages (74%). Les autres formes d'utilisation sont les traitements de surfaces (10%), les batteries Nickel- Cadmium et les catalyseurs Nickel-Aluminium. Les sources naturelles telles que la combustion du charbon, les feux de forêts, les volcans, production de métaux non-ferreux sont considérées comme les principales sources d'émission du nickel dans l'environnement (**Chiffolleau, 2001**)

Concernant le dosage du nickel nous avons enregistré une valeur de concentration de 0,06mg/l dans l'échantillon d'eau conservée dans l'emballage de type PEHD suivi par

une valeur de concentration de 0,05mg/l dans l'emballage de type PP, avec une valeur inférieure à ceux de 0,03mg/l dans l'échantillon de témoin. Ces valeurs ne dépassent pas celle mentionnée dans la norme algérienne pour la qualité de l'eau potable, dont 0,07mg/l (figure 22).

Comme cela a été remarqué dans les éléments mentionnés précédemment, les récipients en plastique ont conduit à une augmentation des concentrations de nickel dans l'eau, où il est plus élevé dans le conteneur PEHD que dans PP.

Le nickel et ses oxydes sont faiblement absorbés quelle que soit la voie d'administration. Ils sont transportés dans l'organisme via un complexe ternaire albumine-nickel-histidine. L'élimination du nickel absorbé se réalise majoritairement par les urines. En cas d'ingestion, la plus grande partie du nickel est éliminée par les fèces. Le nickel et les oxydes de nickel ont une faible toxicité aiguë (INRS, 2019).

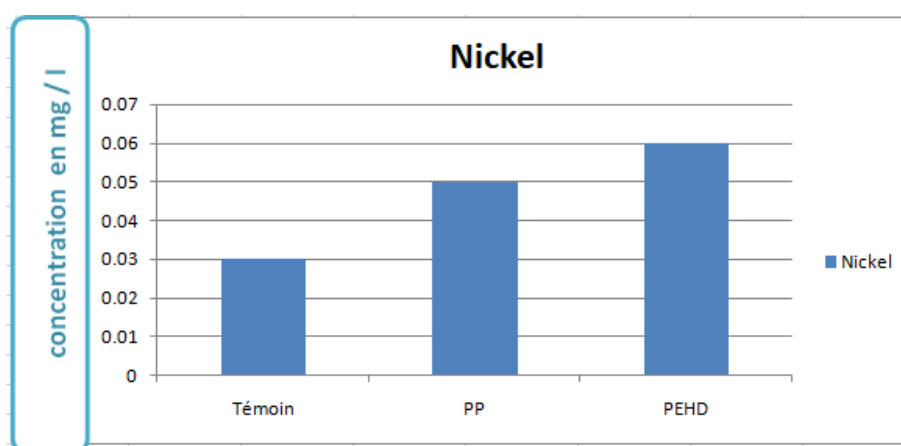


Figure 22. Valeurs de nickel des échantillons d'eau étudiés

3.5. Fer

Le Fer (du latin ferrum) est un élément métallique blanc argenté de symbole Fe et de numéro atomique 26. C'est le quatrième élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Proche de l'aluminium par ses propriétés, c'est le plus abondant des métaux. Le principal minéral de fer est l'hématite. Des petites quantités de fer sont présentes sous forme combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang. Il ne présente pas de toxicité directe pour les êtres vivants c'est un oligo-élément indispensable à tous les êtres vivants, intervient dans les constitutions des molécules d'hémoglobine, des hématies et des myoglobines des muscles (Gaujous, 1995).

Les eaux de surfaces peuvent contenir jusqu'à 0,5mg/l de fer qui peut avoir pour origine les terrains traversés ou les pollutions industrielles. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau. Le fer de l'eau ne présente certes aucun inconvénient du point de vue physiologique, mais à des teneurs très importantes, il influe sur la qualité organoleptique de l'eau (mauvais gout, couleur et saveur) (**Rodier, 1996**).

De très faibles valeurs tracées par la mesure des concentrations de Fer (**figure 23**), de 0,082mg/l dans l'échantillon conservé dans l'emballage (PEHD), de 0,073mg/l pour l'emballage PP, avec une valeur de 0,067 mg/l dans l'échantillon témoin.

Les valeurs trouvées dans l'eau conservée dans l'emballage (PEHD) et (PP) sont supérieures à celle de l'échantillon témoin, et la concentration du Fer dans l'échantillon PEHD est supérieure à celle trouvée dans l'échantillon conservé dans l'emballage de type PP.

Selon la norme algérienne pour la qualité de l'eau potable les trouvés dans cette étude ne dépassent pas la valeur limite qui est de 0,3mg/l.

Le mécanisme toxique principal du Fer réside dans sa capacité à induire la formation de radicaux libres, avec, pour conséquence, une peroxydation lipidique. Classiquement, l'intoxication au Fer est décrite comme évoluant en cinq phases : troubles digestifs, amélioration clinique transitoire, toxicité systémique avec choc, acidose métabolique, coma, toxicité hépatique avec coagulopathie, séquelles digestives à type de sténose (**Gunnar et al., 2007; Nestel & Davidsson , 2003**).

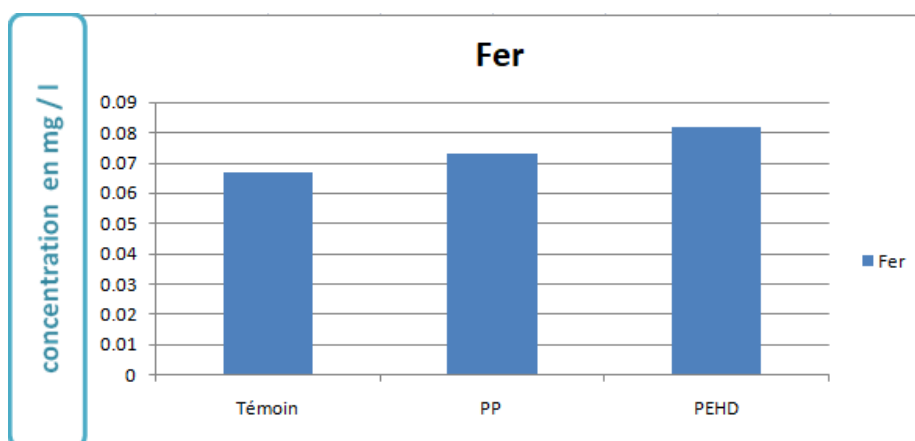


Figure 23. Valeurs de fer des échantillons d'eau étudiés

3.6. Cuivre

Le Cu est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et de sa conductivité électrique et thermique. Il est utilisé dans la métallurgie, dans la fabrication des alliages de bronze (avec étain), de laiton (avec Zn) ou de joaillerie (avec or et argent). Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, transformeurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie (Casas, 2005).

Selon les résultats obtenus par le dosage de cuivre, on a montré que cet élément se trouve dans l'échantillon conservé dans l'emballage (PP) avec une valeur de 1,3 mg/l, et une valeur de 1,5 mg/l dans l'échantillon conservé dans l'emballage PEHD, qui sont élevés par rapport à la valeur de 1 mg/l dans le témoin (**figure 24**). Donc on a observé une augmentation de la concentration du Cu dans les échantillons conservés dans les deux types d'emballage, qu'il y avait une interaction entre l'emballage plastique et l'eau conservée qui résulte l'apparition du cuivre, mais ça n'a pas dépassé les normes Algériens (2mg/l).

Le Cu est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation (OMS-IPCS, 1998).

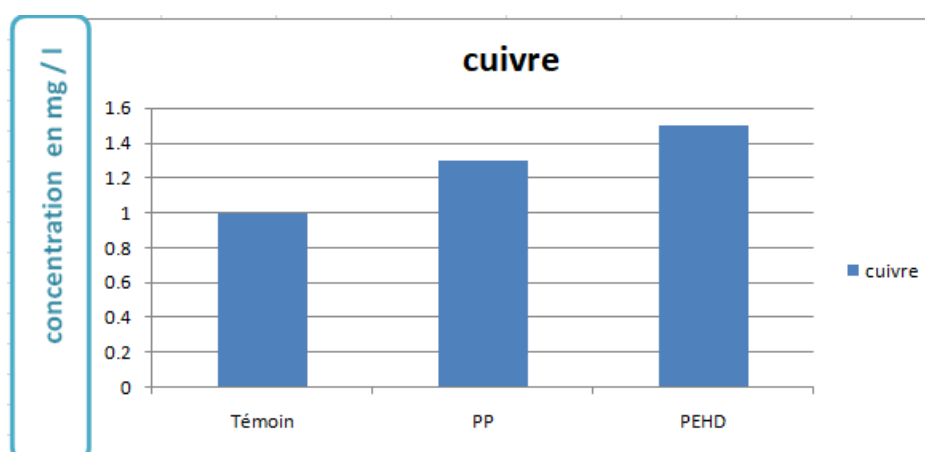


Figure 24 . Valeurs de cuivre des échantillons d'eau étudiés

3.7. Chrome

Le chrome (Cr) est un métal de transition. Il est présent naturellement dans l'environnement et largement distribué dans la croûte terrestre. Les formes les plus communes sont le chrome élémentaire (métallique), ses composés trivalents et hexavalents.

Le chrome est utilisé dans diverses applications industrielles dont la production d'aciers inoxydables et résistants aux hautes températures ainsi que de produits réfractaires; il sert aussi à la fabrication de pigments, au traitement des surfaces, au tannage du cuir et à la préservation du bois (INERIS, 2014).

Le trioxyde de chrome est également employé en tant que catalyseur pour la fabrication de polyéthylène (AFSSET, 2010).

Selon les résultats obtenus par le dosage de chrome, On ne constate aucune différence entre les valeurs dans les échantillons conservés dans l'emballage de PEHD et l'échantillon témoin qui est de 0,7 mg/l. mais On observe une valeur supérieure à celle de témoin dans l'échantillon conservé dans l'emballage (PP) avec 0,10 mg/l (figure 25).

Les résultats confirment qu'il y avait une interaction entre l'eau et la matière plastique de l'emballage (PP) qui justifier par l'augmentation de la concentration de chrome dans l'eau, ces résultats dépassent la valeur fixée par les normes algériennes pour la qualité de l'eau de consommation avec une valeur guide de 0,05 mg/l.

Selon HOET (2015), le risque d'exposition prolongée au Cr peut induire une toxicité systémique grave notamment rénale, et l'inhalation prolongée peut dans certaine circonstance menée à l'ulcération et à la perforation du septum nasal, et au cancer de poumon.

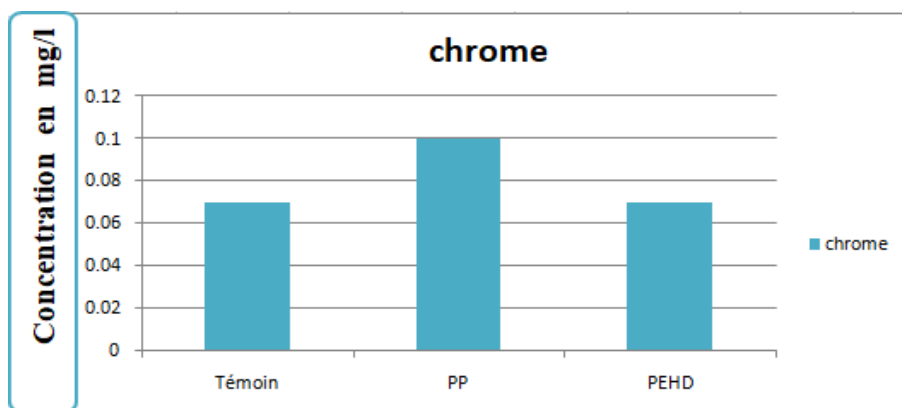


Figure 25 .Valeurs de Chrome des échantillons d'eau étudiés

3.8. Fluor

Le fluor qui appartient à la famille des halogènes est l'élément le plus électronégatif et par suite l'oxydant le plus puissant de la chimie avec ses dérivés font partie de l'environnement humaine normal car ils sont largement réparties dans la nature et de ce fait présents à des concentrations variables.

Selon les résultats obtenus par le dosage de fluor et par rapport au témoin (1,4mg/l) on constate que les valeurs de fluor sont supérieures dans les deux échantillons conservés dans l'emballage plastique avec une valeur de 1,6 mg/l dans l'échantillon conservé dans l'emballage (PP), et une valeur de 1,5 mg/l dans l'échantillon conservé dans l'emballage (PEHD). Ce sont supérieurs à la norme algérienne qui est de 1,5mg/l (**figure 26**).

Les concentrations du fluor dans les deux échantillons d'emballage de PP et PEHD sont dépassées la concentration enregistrée dans le témoin ce qui confirme qu'il y avait une interaction entre la matière d'emballage et l'échantillon l'eau qui.

Le fluor forme des composés avec un grand nombre d'ions métalliques, incluant les métaux nécessaires pour le corps (comme le calcium et le magnésium), mais aussi avec les métaux qui lui sont toxiques (comme le plomb et l'aluminium). Ceci peut causer une variété de problèmes. Ainsi, le fluor interfère avec les enzymes où le magnésium est un important cofacteur, et il facilite l'absorption de l'aluminium et du plomb, dans les tissus où ces poisons n'iraient pas se loger autrement (**Mahaffey 1976; Allain 1996; Varner,**

Au niveau biologique, le fluorure est très actif, même à faible concentration. Il interfère avec les liaisons d'hydrogène (**Emsley, 1981**) et inhibe de nombreuses enzymes (**Waldbott, 1978**).

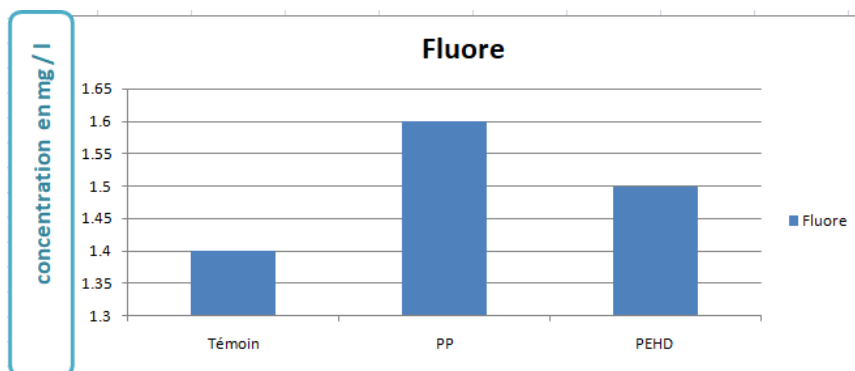


Figure 26. Valeurs de fluore des échantillons d'eau étudiés

4. Corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les éléments métalliques

Le (**Tableau 13**) représente les résultats statistiques de test de corrélation de Pearson, dans cette étude nous avons basés sur la classification de **Lehman (2005)** pour déterminer le degré de corrélation:

- <0,20 très faible
- 0,20-0,39 faible
- 0,40-0,59 modérer
- 0,60-0,79 forte
- >0,80 très forte

Ce tableau montre les coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres physicochimique (pH, Conductivité électrique, salinité) de l'eau conservée et les éléments métalliques dosés (Cd, Cu, Cr, Fer, F, Ni, et Pb) où toutes les relations entre ces éléments et le pH sont négatives et statistiquement non significative, tandis que leurs relations avec la conductivité électrique et la salinité sont positive varie entre forte et très forte avec une signification observée avec le Cu, Ni, et Pb (sig avec * le niveau de signification chez 0,05, sig avec ** ; le niveau de signification chez 0,001).

Ces résultats indiquent qu'il existe une relation et influence de certaines caractéristiques physico-chimiques de l'eau et son interaction avec les emballages plastiques utilisés (PP, PEHD). On constate que la diminution de pH provoque la libération de ces éléments métalliques de l'emballage vers l'eau, On peut dire que plus le pH est dirigée vers l'acidité plus le plastique réagira avec l'eau. Par contre la Conductivité électrique et la salinité plus ils sont augmentés plus le Cu, Ni, et Pb s'infiltreront dans l'eau.

Tableau 13 : Corrélation de Pearson des paramètres physico-chimiques et les éléments métalliques dans les échantillons d'eau étudiés.

		Cadmiu m	Fluore	Chrome	Cuivre	Fer	Nickel	Plomb
pH	Coefficient de corrélation	-0,727 forte	-0,286 faible	0,231 faible	-0,940 très forte	-0,993 très forte	-0,912 très forte	-0,912 très forte
	Sig.	0,482	0,815	0,851	0,222	0,075	0,270	0,270
Conductivité électrique	C.de Corrélation	0,945 très forte	0,655 forte	0,189 très faible	0,997 très forte	0,954 très forte	1,000 très forte	1,000 très forte
	Sig.	0,212	0,546	0,879	0,048*	0,194	0,000* *	0,000* *
Salinité	C. de corrélation	0,932 très forte	0,627 forte	0,153 très faible	0,999 très forte	0,964 très forte	0,999 très forte	0,999 très forte
	Sig.	0,235	0,569	0,902	0,025*	0,171	0,023*	0,023*

Conclusion

Générale

Conclusion générale

La valorisation, la récupération et de recyclage des déchets industriels (plastique) donne une nouvelle source de matière première des nouveaux produits dans l'industrie, et donne une valeur économique aux citoyens. Il y a de différents types de matière plastique chacune a des propriétés spécifiques et leurs interactions avec les produits emballés.

Nous avons réalisé ce travail par deux études (enquête et expérimentation) pour montrer le développement d'utilisation ménagers d'emballage plastique, et l'effet de la matière plastique sur le produit conservé. Dans ce travail nous avons choisis deux types d'emballage PEHD et PP, et le produit conservé est l'eau de robinet.

Les résultats de questionnaire qui réalisé sur 35 familles habitent dans les deux régions Djamâa et Tendla, montrent le type d'emballage plastique le plus utilisé est l'emballage PEHD et PP, et les résultats montrent aussi l'utilisation de ce type d'emballage dans la conservation des denrées alimentaire. Le traitement des données montre que la plus part des familles questionnées utilisent des emballages des produits alimentaires avec un nombre considérable que celui qui sont utilisent l'emballage des produits chimiques. Selon les réponses enregistrées on constate que la durée d'utilisation d'emballage plastique dans le domaine ménager est plus long peut dépasse plusieurs mois jusqu'à des années.

Les analyses physicochimiques révèlent une augmentation de la concentration des éléments métalliques tels que le Cd, Pb, Cu,...ect. Dans les échantillons d'eau conservés dans les deux emballages en comparant avec l'échantillon témoin qui est conservé dans un récipient en verre, le test de corrélation de Pearson indique qu'il existe une interaction avec certains paramètres physicochimiques de l'eau et l'augmentation des éléments dosés. Donc on peut conclure qu'il existe un risque d'utilisation d'emballage plastique qui traduit par l'apparition et l'augmentation des paramètres toxique comme le cuivre, chrome, nickel ,plomb , et cadmium , parmi les deux emballages utilisés le PEHD est plus néfaste que le PP dans des conditions spécifique comme une forte température et l'exposition au soleil.

Perspective

Nous espérons que cette étude va être complétée par une autre par l'utilisation de ces emballages dans une haute température.

- Dosage les substances et les éléments qui font partie des additifs et les adjuvants de la matière plastique pour prouver bien l'interaction entre le contenu et le contenant comme le Phtalate, et Bisphénol A.....
- Tester les paramètres et les facteurs influençant cette interaction.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ADDIEGO F., (2006).** Caractérisation de la variation volumique du polyéthylène au cours de la déformation plastique et en traction et en fluage, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL, France.
2. **AD-HOC WORKING GROUP (EUROPEAN COMMISSION., (2010).**Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 2010, 53 p.
3. **AFSSA., (2008).** évolution sanitaire des matériaux en polyethylene.
4. **ALBERTO C., (2005) .** Superper molecular Polymers, P 6.
5. **AMROUS S., Aklil M ., (2016).**Elaboration et caractérisation des géomembranes à base des polymères recyclés, pour la protection des borbiers de forage pétroliers, Université de M'Hamed Bougera -Boumerdes –Faculté des Sciences de l'ingénieur.
6. **ANDRADY A. L., (2003).** Plastics and the environment. New York : John Wiley and Sons.
7. **ANDRADY A.L. ,(2011).**Microplastics in the marine environment "Marine Pollution Bulletin", 62, 1596-1605.
8. **ANONYME., (2003).**Trier les plastiques:Fiche conseil N°047 : Réseau éco-consommation www.ecoconso.be/articl205.html.
9. **AUSSEUR .D, (1999).** "Polychlorure de vinyle" technique de l'ingénieur, Vol AM 3325, Pages : 1-11.
10. **AZZI N., (2017).** Effet du vieillissement thermique sur la rigidité diélectrique du polyméthacrylate de méthyle, mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
11. **BACHA C., CAMP A ., (2011).** Evaluation de la migration des constituants de l'emballage en poly(éthylène téréphtalate) (PET) vers l'eau, des facteurs d'influence et du potentiel toxique des migrats, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL, France.
12. **BACHA C., DAUCHY X., CHAGNON M. C., ETIENNE S., (2012).** Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed, *Water Research*,2012, 46, p 571-583.

13. **BALISTRIERI L. S., Murray J. W., (1984).** Marine Scavenging-Trace-Metal Adsorption by Interfacial Sediment from Manop Site-H: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(5): 921-929.
14. **BARKAT K., (2016) .** « Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun » Mémoire de Master en Pollution des écosystèmes et Ecotoxicologie, Université des Frères Mentouri Constantine, p3.
15. **BASTA N. T., TABATABAI M. A., (1992a).** Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: I Single metal adsorption, *Soil Sci.*, 153(2): 108-114.
16. **BEAUMONT C., GIROT R., (2000).** Métabolisme du fer : physiologie et pathologie encyc Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Hématologie,13-000-P-20, 14 p .
17. **BELABED B., (2010) .**« La pollution par les métaux lourds dans la région d’Annaba (Sources de contamination des écosystèmes aquatiques) » Thèse de doctorat en Biologie et physiologie des organismes Marins, Université Badji Mokhtar –Annaba, p7.
18. **BERLINET C., DUCRUET V., BRILLOUET J. M., REYNES M., BRAT P., (2005).** Evolution of aroma compounds from orange juice stored in polyethylene terephthalate (PET) "*Food Additives and Contaminants*", p22, N°2, 185-195.
19. **BERLINET, C, (2006).** Etude de l’influence de l’emballage et de la matrice sur la qualité du jusd’orange, thèse de doctorat, l’Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles etAlimentaires (ENSIA), France.
20. **BLAISE A., (2011).** Caractérisation microstructurale d'un PEHD semi-cristallin déformé, par tomographie Xet diffusion de lumiere polarsée thèse de doctorat ,unirversité Henri Poincaré- Nancy I.
21. **BONHOMME S., et al., (2003).** Ennvironment albio degradaion of polyetylene. *Polymer Degradation and stability* elsevier, 81p.
22. **BOST. J, (1974).** "Matière plastique" Tome I: Chimie et application, technique et documentation, Paris, Pages : 121-174.
23. **BOUSSOUM M. O., (2012).** Etude de méthodes de traitement pour diminuer la migration a partir des emballages en PVC, thèse de doctorat, Ecole nationale supérieur polytechnique (ENP).

24. **BOUTERFA M., (2011).** Etude de la détermination du paramètre d'interaction entre deux polymères par voie mécanique « effet du comptabilisant sur ce paramètre », mémoire de magister en génie des polymères, université Farhat Abbas, Setif.
25. **CARETTE L., DEFOSSE R., (1996).** Techniques de l'ingénieur, 1996, A32P.
26. **CARRAGA M., (2005).** Matériaux polymères. Ed. Paris : Dunod, 3, 7, 33, 42, 43, 48, 49p.
27. **CASAS S., (2005).** « Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen », thèse de doctorat en Océanologie biologique, Environnement marin., Chap I, p22.
28. **CENTRE NATIONAL DE RECCLAGE ., (2011-2012):**
<http://perso.wanadoo.fr>. “ Emballage alimentaire et Santé”, L'aliment santé, Axis industrie, 38-39.
29. **CERCLE NATIONAL DU RECCLAGE ., (1999)** .Les emballages plastiques, de fabrication à la valorisation ; **www.emse.fr**, consulté mars 2015.
30. **CERETTI E., ZANI C., ZERBINI I., GUZZELLA L., SCAGLIA M., BERNA V., DONATO F., MONARCA S., FERETTI D., (2010).** Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles, *Water Research*, 2010, 44, 1462-1470p.
31. **CHAFFRAIX V., (2002).** Etude de l'extrusion du polyéthylène téréphtalate et de ses mélanges non comptabilisés avec le polyéthylène haute densité, mécanique [physics.med-ph], Ecole nationale supérieure des mines, Paris.
32. **CHERFA N., (2007).** Résistance à l'impact d'un polypropylène recyclé, Thèse Magister, Université M'hamed Bougara de Boumerdès.
33. **CHIFFOLEAU J. F., AUGER D., CHQRITIER E., MICHEL P., TRUQUET I., FICHT A., GONZALEZ J. L., ROMANA L. A., (2001).** Spatiotemporal changes in cadmium contamination in the Seine Estuary (France). *Estuaries*, 24, 6B : 1029-1 040.
34. **CHRYSTELLE I. et al., (2013)** .Fin de vie des emballages plastiques alimentaires: Dossier, 2013.

35. **COLBEAUX A., (2001).** Compatibilisation de mélanges PP/PE par extrusion réactive, thèse de doctorat, Laboratoire des Matériaux Macromoléculaire de l'INSA de Lyon.
36. **DEBEER LAER S., (2003).** Le recyclage des matières plastiques"Travail de Fin d'Etudes Université Libre de Bruxelles-IGEAT", 98p.
37. **DEMATTEO R., (2011).** Exposition à des produits chimiques et production des matières plastiques : Problèmes pour la santé des femmes, une analyse documentaire, www.cwhn.ca.pdf, consulté avril 2015.
38. **DHILLON S. K., Sinha M. K., (1985).** Copper adsorption characteristics of selected alkaline: Soils Intern J., Trop Agri., 111(1) ,p 28-34.
39. **DIB I., (2009).** L'Impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, p 127 .
40. **DIENE A., (2014)** .Les déchets plastiques ; www.fongs.fr, consulté avril 2015.
41. **DIOUF M., (2013)** .Enquête consacré au fléau des sacs plastiques au Sénégal ; www.lasomone ,consulté avril 2015 direction de l'environnement de wilaya tizi-ouzou.
42. **DOUMINGE L., (2010).** Etude du comportement du polyéthylène haute densité sous irradiation ultraviolette ou sollicitation mécanique par spectroscopie de fluorescence, thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France.
43. **DUMAINE E. et al ., (2011).** Les plastiques en débat, 2011.
44. **FEIGENBAUM A., BARTHELEMY E., (2006).** «Evaluation sanitaire des matériaux en poly (éthylène téréphtalate) recyclés utilisés en tant que matériaux au contact des denrées alimentaires et de l'eau de boisson » Agence française de sécurité sanitaire des aliments ,p61.
45. **FERHI H., (2013).** Le recyclage des déchets en algérie, une filière de gestation, www.magrebmergen.com/algerie.
46. **FONTANILLE. M, GNANOU .Y, (2002).** "Chimie et physicochimie des polymères" Dunod, Paris, 572 pages.

47. **FRANZ R., WELLE F., (2008)** . Investigation of non-intentionally added substances (NIAS) in PET bottles and closures, Poster presentation at the 4th International Symposium on Food Packaging, 19-21 November 2008, Prague.
48. **FSA., (2007)**. Report FD07/01: An investigation into the reaction and breakdown products from starting substances used to produce food contact plastics, Food Standards Agency, London (United Kindom).
49. **GARNIER R ., (2005)**. Toxicité du plomb et de ses dérivés: EMC (Elsevier SAS, Paris), Toxicologie-Pathologie professionnelle, 16-007-A-10.
50. **GAUJOUS D., (1995)**. La pollution des milieux aquatique aide-mémoire: Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.
51. **GAUTRON P., (1999)**. « Plastiques : valorisation et recyclage des déchets », Techniques de l'Ingénieur, A3830, 1993 Miquel G Et Poignants S, « Les techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et assimilés », ed Assemblée Nationale, Paris.
52. **GERVAIS H., (2010)**. Les plastiques ; www.recyc-quebec.com, consulté mars 2015.
53. **GIROIS S., (2004)**. Stabilisation des plastiques Principes généraux, Techniques de l'ingénieur, 2004, AM3232, p 1-14.
54. **GUNNAR F., NODBERG B. A., NODBERG F. W. , FRIBERG L., (2007)**. Handbook on of metals, eme edition:Academic Press, 25 juin 2007, 1024 p. 3the toxicologie
55. **HADDOU M., (2010)**. Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse"Thèse de Doctorat, Université Toulouse III".
56. **HADEF D., HASNI M., (2017)** .« Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana W.Ain Defla », «Mémoire de Master en Chimie, Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana p7.
57. **HAMED M., GUETTACHE A., BOUAMER L., (2012)**. « Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie ». Université de Bechar., pp7- 9 p .
58. **HAMMER., JORT., KRAAK., MICHEL., PARSONS., JOHN R., (2012)**. Plastics in the marine environment: The darkside of a Modern Gift review of

- environmental contamination and toxicology "Springer Science+Business Media ", p220.
59. **HAMZA D., (2009).** Synthèse et caractérisation de NANOBLEND Polyéthylène haute densité-Polystyrène/monmorillonite (PEhd-PS/MMT) et Polyéthylène basse densité- Polystyrène/monmorillonite (PEbd-PS/MMT), mémoire de magister en physicochimie analytique, université Mentouri Constantine.
60. **HARRIS R. M., (1999).** Coloring technology for plastics, William Andrew.
61. **HCEFLC D., (2006).** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR Darchfaai,cercle d'el brouge ,province de settat ,maroc.
62. **HOET P., (2015) .** Chrome et composés :EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement ;10(3) 1-11 [Article 16-002-C-40].
63. **HSDB ., (2003) .** Nickel Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine.
64. **INRS., (2019).** Base de données fiches toxicologiques.
65. **JEAN-PIERRE MERCIER et PIERRE GODARD., (2001).** Chimie organique : une initiation, P244.
66. **JOHNSON W., (2002).** L'invitation à la chimie organique,P 30-31.
67. **KIM Y. M., (1994).** Ordered Intermetallic Alloys, Part III: Gamma Titanium Aluminides, Journals of Metals 46 – 30 .
68. **KONKOL L., (2004) .** KONKOL Lidia, Contaminants levels in recycled PET plastic :These Environment and Biotechnology: Victoria (Australia) 2004, 319p.
69. **LAU O. W., WONG S. K., (2000).** Contamination in food from packaging material, Journal of Chromatography A, 2000, 882, p255-270.
70. **LAYAL A., (2013).** Etude des interactions PET-EAU minérale dans les eaux embouteillées au Liban et approches analytiques des risques sanitaires thèse de doctorat, de l'université Claude Bernard Lyon 1 et de l'université libanaise.
71. **LEHMAN A., (2005).** JMP for Basic Univariate And Multivariate Statistics: A Step-by step Guide. Cary, NC: SAS Press. 123p. ISBN 978-1-59047-576-8.
72. **LIAO, J.-D, (1995).** Modifications physico-chimiques et mécaniques du polyéthylène et du polypropylène par implantation ionique, plasma micro-ondes, bombardement d'électrons et irradiation gamma, thèse de doctorat, école nationale supérieure des mines de Saint Etienne, France.

73. **MAHIOUT Soraya, (2014)** Mettre en valeur ou bannir le polystyrène-Approche dans un cadre de développement durable, thèse de doctorat, université SHERBOCK.
74. **MAOU S., (2012).** Etude des propriétés thermiques de mélanges à base de PVC et PVC-PEHD et les phénomènes de dégradation, mémoire de magister, université Kasdi Merbah, Ouargla.
75. **MATHLOUTHI M., (2008).** emballage et conservation des produits alimentaires .
76. **MINISTERE DR LA SANTE DU CANADA., (2007).** La présence de plomb dans l'eau potable ,f euillet d'info, site :www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/doc_supappui/lead-plomb/index_f.html.
77. **MULLER R. J., KLEEBERG I., DECKWER W. D., (2001).** Biodegradation of polyesters containing aromatic constituents biotechnology, p86.
78. **MULITON, J.L, (1998).** L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation, collection sciences et techniques agroalimentaires, 2e édition technique et documentation.
79. **MUNCKE J., (2009).** Exposure to endocrine disrupting compounds via the food chain: Is packaging a relevant source? *Science of the Total Environment*, 2009, 407, 16; 4549-4559p.
80. **NAGHEL M., (2003).** La gestion des déchets solide urbains cas d'étude : ville de Msila " Mémoire de magistère en gestion écologique de l'environnement urbain université Mohamed Boudiaf ",202 p.
81. **NESTEL P., DAVIDSSON L., (2003) .** Anémie carence en fer et anémie ferriprive etat unis d'Amérique .
82. **OMS-IPCS., (1998).** Environmental Health Criteria n°200: copper" World Health Organisation International Programme on chemical safety.
83. **PENNARUN P. Y., (2001).** PENNARUN Pierre-Yves, Migration à partir de bouteilles en PET recyclé. Elaboration et validation d'un modèle applicable aux barrières fonctionnelles, 292p "Thèse : ChimieReims" (France).
84. **PLASTICS Europe., (2017).** Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data.
85. **RAMADE F.,(1992).** Precis d'ecotoxicologie, Collection d'ecologie 22, Masson.
86. **REICHL., (2004).** Guide pratique de toxicologie. Ed, Boeck & Larcier SA, Paris.

87. **RESEAU ENVIRONNEMENT SANTE., (2015)** Actualité santé
environnement : Pollution des océans aux microparticules de plastique ;
www.reseau-environnement-sante.fr, consulté juin 2015.
88. **RIQUET M., (1998)**.l’emballage alimentaire et sécurité du consommateur,
INRA, paris.
89. **RODIER J., (1996)**. L’analyse de l’eau: Eaux naturelles, Eaux résiduelles, Eau
de mer,6eme édition: Dunod, Paris, 557-570p et 968-1079p.
90. **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., (2009)**. L'analyse de l'eau, 9 ème,
édition, Ed Dound1579P.
91. **SAXL., (2010)**. Polyethylene terephthalate May yield endocrine
disruptors:Environmental Health Perspectives,118(4), 445-448p.
92. **S.S. HOSSEINI et col. (2007)**. Hydrolytic Degradation of Poly(ethylene
terephthalate), Journal of Applied Polymer Science, Vol. 103, 2309 .
93. **SAADANI S.,(2010)**. Comportement des bétons à base de granulats recyclés,
Université Mentouri Constantine, p (7-8).
94. **SEVERAIN et al., (2011)**. Evaluation et gestion des risques-Matériaux
d'emballage à contact alimentaire: Cahiers de Nutrition et de Diététique 46(2), 59-
66.
95. **SOUCCAR T., (1997)**. “ Emballage alimentaire et Santé”, *L'aliment santé*, Axis
industrie, souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien),
Mémoire de magister step Guide cary, NC: SAS Press,123p.
96. **TADA F., SUZUKI S., (1982)**. Adsorption and desorption of heavy metals in
bottom mud of urban rivers Water Res., 16: 1489-1494.
97. **TESSIER A., CARIGNAN R., DUBREUIL B., RAPIN F., (1989)**.
Partitioning of zinc between water column and the oxic sediments in lakes"
Geochim Cosmochim Acta", 53: 1511-1522.
98. **THOMPSON R. C., SWAN S. H., MOORE C. J., VOMSAAL F. S., (**
2009). Our plastic age" Philosophical Transactions of the Royal Society of London
B", 364, 1973–1976.
99. **TOLINSK M., (2010)**. *Plastics and Sustainability* salem, Scrivener Publishing,
269 p.
100. **TRESSAUD A., (2011)**. *Le Fluor; Histoire, applications et paradoxes*. CNRS
Editions, p 49-76.

101. **VILLAIN F., COUDANE J., VERT M., (1994).** « Thermal degradation of poly(ethyleneterephthalate) and the estimation of volatile degradationproducts », *PolymerDegradation and Stability*, , 43, 3, p 431-440.
102. **VIRGINILLO, MARTIN GUSTAVO, (2011).** méthodes d'analyse du cycle de vie des emballages , Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie mécanique pour l'obtention du grade de Maître es Sciences (M, Se).
103. **VITRAC O., JOLY C., (2008).** Contact alimentaire : évaluation de conformité. Partie 1, Techniques de l'ingénieur, 2008, AF 6930, p. 1-22.
104. **W . H. O., (1994).** Humain Exposure to lead. Human Exposure assessment series" Report on the human exposure assessment location (H. E. A. L.)", Programme meeting held in Bangkok, Thailand . 19November 1992, 216p
105. **WANG Z. W., Li., BLINi Q. B., HU C. Y., (2018).** two-phase molecular dynamics model to simulate the migration of additives from polypropylene material to food, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, p695, 705.
106. **WORLD HEAEALTH ORGANISATION., (2004) .** Cadmium in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, World Health Organization.
107. **ZAKI O., (2008).** ZAKI Oussama, Contribution à l'étude et à la modélisation de l'influence des phénomènes de transferts de masse sur le comportement mécanique de flacons en polypropylène, 192p"Thèse: Génie des procédés Paris-EST".
108. **ZHONG., X IALI., ZHONG., CAIGAO., (2017) .** Mitochondrial Biogenesis in Response to Chromium (VI) Toxicity in Human Liver Cells "International journal of molecular sciences",. vol. 18, no 9, p. 1877 .
109. **ZHU B., ALVA A. K., (1993).** Differential adsorption of metals by soils as influenced by exchangeable cations and ionic strength, *Soil Science*, 155(1): 61-66.
110. **ZIANE K., BOUYAHIA N., (2013) .** « Cycle biogéochimique de quelques métaux lourds dans les eaux Côtières du golfe Bejaia » Mémoire de Master en environnement et santé publique, Université Abderrahmane Mira de Bejaia., p9.

Annexes

Annexes 01

La polymérisation

La polymérisation est l'étape essentielle dans l'obtention des polymères, puis qu'elle permet le regroupement des monomères via des liaisons covalentes. Cette étape peut se faire par deux mécanismes de réaction bien différents:

a) la polycondensation Lors d'une polycondensation, de nombreuses petites molécules de type A, ou en général de deux types : A et B, appelées monomères, se lient les unes aux autres, alternativement, un très grand nombre de fois, pour donner des molécules géantes appelées macromolécules. On utilise alors un catalyseur pour augmenter la vitesse à laquelle se fait la réaction. La polycondensation s'accompagne de la libération d'une espèce chimique comme l'eau par exemple.

b) La polyaddition La réaction chimique consiste à additionner un grand nombre de fois « n » un ou plusieurs monomères pour obtenir un polymère. Pendant cette réaction, une liaison parmi la double liaison entre les deux carbones se casse.

Tableau 01. Températures de fusion de chaque type de plastique

Polypropylène	PP	163 °C	100 °C / -10 °C
Polystyrène	PS	160 °C	60 °C / -10 °C
Polyéthylène très haute densité 1000	PEHD 1000	138 °C	80 °C / -260 °C
Polyéthylène très haute densité 500	PEHD 500	135 °C	80 °C / -100 °C
Polyéthylène haute densité 300	PEHD 300 °C	130 °C	80 °C / -100 °C
Polyvinylchlorure ou Polychlorure de vinyle	PVC	125 °C	60 °C / -10 °C
Polyéthylène basse densité	PEBD	~ 100 °C	70 °C

Annexe 02

- **Valorisation des déchets** : toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets. Elimination des déchets : toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.

- **Immersion des déchets** : tout rejet de déchets dans le milieu aquatique

- **Enfouissement des déchets** : tout stockage des déchets en sous-sol.

Annexe 03

Solution-standard de fluorures

a) préparer une solution-stock en dissolvant 221,0 mg de fluorure de sodium (NaF) dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml

Réactif zirconium-alizarine

a) peser et dissoudre 300 mg d'oxychlorure de zirconium ($\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), dans 50 ml d'eau distillée et verser dans un flacon volumétrique de 1000 ml avec un couvercle.

b) peser et dissoudre 70 mg de mono sulfate d'alizarine dans 50 ml d'eau distillée.

c) verser la solution 2 dans la solution 1, lentement en remuant.

d) la solution résultante devra reposer quelques minutes.

Mélange acide

a) mesurer 101 ml d'acide chlorhydrique concentré (HCl) et diluer pour approximativement 400 ml avec de l'eau distillée;

b) ajouter précautionneusement 33,3 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) dans environ 400 ml d'eau distillée;

c) mélanger les deux solutions après refroidissement.

Réactifs Scott-Sanchis

a) ajouter le mélange acide à la solution réactive Zirconil- alizarine;

b) compléter le volume pour 1000 ml avec de l'eau distillée et mélanger

c) conserver dans un flacon ambre et dans un endroit protégé de la lumière directe. Ce réactif reste stable pendant 6 mois.

Arsénite de sodium

a) peser 5 g d'arsénite de sodium (NaAsO_3) et dissoudre dans un peu d'eau, diluer pour 1 litre avec de l'eau distillée (utiliser 1 goutte pour chaque 0,1mg de chlore existant dans l'échantillon)..

Annexe 04

Dosage de fer

☐ **Acide sulfurique (4,5mol/l)**

- ☐ Eau distillée 3 volume.
- ☐ H₂SO₄ pur (agiter énergiquement) 1 volume.

☐ **Solution acétate Tampon**

- ☐ Acétate d'ammonium CH₃COONH₄ (40g).
- ☐ Acide acétique CH₃COOH (1,06g/ml) 50 ml.
- ☐ Eau distillée (100 ml).

☐ **Solution chlorhydrate d'hydroxylamine**

- ☐ Chlorhydrate d'hydroxylamine NH₂OH HCl 10g.
- ☐ Eau distillée (100 ml).
- ☐ Cette solution est stable pendant une semaine au moins.

☐ **Solution phénantroline-1,10**

- ☐ phénantroline-1,10 monohydrate C₁₂H₈N₂ H₂O (0,42 g).
- ☐ 100ml d'eau distillée contenant 2gouttes de la solution de HCl.

Conservée cette solution à l'obscurité, elle est stable pendant une semaine

☐ **Solution mère du fer à 0,1g/l**

- ☐ de fer (pureté 99,99%) 50 mg.
- ☐ Eau distillée (20 ml).
- ☐ Solution HCl (5ml).
- ☐ Chauffer légèrement pour dissoudre et compléter avec de l'eau distillée jusqu'à (500ml).

Conserver cette solution dans une bouteille en verre ou en plastique, elle est stable pendant au moins une semaine

☐ **Solution mère du fer on utilisant le sulfate de fer et d'ammonium à 0,1 g/l**

- ☐ Sulfate de fer et d'ammonium (NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O (0,7 g).
- ☐ H₂SO₄ pur (d=1,84) 0,7ml.
- ☐ Refroidir et diluer avec de l'eau distillée à 1 litre.

Annexe 05

Questionnaire

استبيان

المنطقة:

الرقم:

- ما هي أنواع البلاستيك التي تستخدمها يوميا :

Alimentaire

PEH

PP

- ما هو نوع المادة التي تخزنها في الأواني البلاستيكية الجديد

- ما هي المواد الأصلية المتواجدة بالأواني البلاستيكية لدى اقتنائها

- ما هو نوع المادة التي تخزنها في الأواني المعد استعملها

- ما هي مدة استعمال عبوات تخزين المياه في المنزل شهر عدة أشهر

علم عدة أعوام

- ما هي المدة التي تستعمل فيها الأواني البلاستيكية : شهر عدة أشهر

علم عدة أعوام

- على ماذا تعتمد في تنظيفك للأواني البلاستيكية من المادة الأصلية الموجودة بها قبل استعمالها :

الصابون المنزلي سائل تنظيف الأواني

ماء الجافيل مواد تنظيف أخرى مواد أخرى

- هل تقوم بتوجيه الواني البلاستيكية إلى المؤسسات المختصة بالرسكلة :

نعم

لا