



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued
Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADÉMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Industries Pétrochimiques

Spécialité : Génie pétrochimique

Présenté par:

ABBAD Mohammed

BACI Abdelfattah

BEN ABDALLAH Moussa

Thème

Impact environnemental des produits issus de
l'industrie pétrochimique :
Étude du cas des matières plastiques

Soutenu le : 05/06/2024

Devant le Jury :

Mr. Oaucif Khaled Mohammed Tayeb

President

University d'El Oued.

Mr. Reghiousa Abdellah

Examiner

University d'El Oued.

Mr. Boughezal Abdeslam

Rapporteur

University d'El Oued.

2023/2024

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre Dieu, qui nous a donné la force pour accomplir ce travail.

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur, **A. Boughezal** pour nous avoir dirigé, pour ses explications, remarques judicieuses et conseils qui nous ont été précieux pour la réalisation de ce travail.*

Nous présentons nos chaleureux remerciements aux membres de jury, et aussi aux enseignants pour leurs aides et orientations durant nos études.

Nous remercions également tous ceux qui nous ont aidé moralement à accomplir ce travail, et le plus beau des remerciements à tous nos enseignants tout au long de notre parcours académique à l'université.



Dédicace

Merci mon Dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Elhamdoulillah"

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail ; à La lumière de ma vie; mes parents: qui me sont les plus chers au monde Mon très cher père mon exemple éternel, pour ses encouragements, son soutien moral et physique qui m'ont précieusement aidée à ce termine ce travail.

Ma très chère mère ,a la lumière de ma route, l'incomparable, l'unique et l'irremplaçable source de tendresse, la flamme de mon cœur, ma vie et mon Bonheur, pour son amour, son support physique et moral, ses prières pour m'avoir donnée la force de Continuer ce travail. Que Dieu grand et puissant les bénisse et leur accorde une très longue vie. Amen.

*Mon adorable sœur, Mes chers frères . Et À toute ma grande famille et à tous ceux que j'aime. Toutes mes camarades de la promotion de Génie des Pétrochimiques **2023-2024**.*

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Mohamed, Moussa et Abdelfattah

Sommaire

Remercient	
Dédicace	
Sommaire	I
Liste des figures	III
Liste de tableaux	III
Nomenclature	IV
Introduction générale	V

Chapitre I: Les produits de la pétrochimie

1.Introduction	1
2. Nature des différents combustibles fossiles	1
2.1. Le charbon	1
2.2. Le pétrole	2
2.3. Le gaz naturel	2
3. Les principaux procédés du raffinage	3
3.1.Séparation	5
3.2.Conversion	5
3.3.Traitement	6
3.4.Formulation et mélange	6
3.5.Opérations de raffinage auxiliaires	6
3.6.Opérations de raffinage sans traitement	6
4. Types des matières premiers pour la pétrochimies	7
5. Industrie Pétrochimique	11
5.1.La chaîne de production	11
5.2.La base de l'industrie pétrochimique	12
5.3. Les produits pétrochimiques	14
6. Les grands procèdes de l'industrie pétrochimique	15
6.1. Alkylaton	15
6.2. La polymérisation	17
7.Produits de l'industrie pétrochimique	18

Chapitre II: L'impact de l'industrie pétrochimique sur l'environnement

1. Introduction	21
2. Les matières plastiques	22
3. Les différentes voies de pollution	23
3.1. Les pollutions mécaniques	23

3.2. Les pollutions plastiques	24
3. 3. Les pollutions chimiques	24
3. 4. Les pollutions sonores et lumineuses	25
3.5. La pollution thermique et barométrique	25
4. Types les impacts des plastiques	26
4.1. Impacts socio-économiques	26
4.2. Impacts sur l'environnement. écosystèmes et organismes	27
4.3. Impacts sur la santé	30
5. Mécanismes d'action	32
5.1.La dégradation	32
5.2. La combustion	34
5.3. Libération de substances toxiques	35
6. Exemples avec statistiques	36
6.1. Production mondiale de plastique 1950-2022	36
6.2. Principaux producteurs de plastique	37
6.3. Les plastiques à usage unique en Algérie	37

Chapitre III : Solution et perspective

1.Introduction	40
2.Recyclage du plastique	40
3. Les différents types de recyclage des matières plastiques	40
3.1. Le recyclage chimique	40
3.2. Le recyclage mécanique	42
3.3. Le recyclage organique	43
4. Les alternatives au plastique	43
4.1. Les plastiques issus de matières renouvelables	44
4.2. Les matériaux traditionnels	44
4.3. Les nouveaux matériaux	44
4.4. Plastiques dans l'industrie médicale	45
4.5. Plastiques dans la construction	46
5.Les solutions au niveau mondial pour lutter contre la pollution plastique	47
6.Les solutions au niveau individuel pour lutter contre la pollution plastique	49
7. Une prise de conscience réelle	51
8.Conclusion	54
Conclusion générale	
Références	

Liste de Tableaux

Tableau. I.1: Exemples de produits de l'industrie pétrochimique	8
Tableau I.2 : Production mondiale des alkyl phénols en 1995	16
Tableau II.1: Principales conséquences socio-économiques liées au plastique en mer	28
Tableau II.2 : Classification des déchets plastiques	38

List de Figures

Figure I.1. Formation du charbon	1
Figure I.2. Constitution d'un gaz naturel brut	3
Figure I.3. Schéma type des procédé de raffinage	5
Figure I.4. Produits pétrochimiques primaires	10
Figure I.5. Produits chimiques issus du méthane.	12
Figure I.6. Diagramme des produits pétrochimiques	19
Figure I.7. Capacité de fabrication d'éthylène de 143.8 millions de tonnes par année	20
Figure II.1. La pollution du plastique	24
Figure II. 2. Mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques. vue générale	33
Figure II. 3. Microsphères de polystyrène colonisées par la bactérie	34
Figure II.4. Déchets plastiques et descente d'échelle. une terminologie possible	34
Figure II.5. Production annuelle de plastiques dans le monde de 1950 à 2022 (en millions De tonnes)	37
Figure II.6 : Courbe démontrant l'augmentation de la consommation du plastique en Algérie Durant les 10 dernière années	39
Figure III.1 : Cycle circulaire du plastique	40

Nomenclature

BTX : Benzène, toluène et xylène

PVC : Polychlorure de vinyle

GES: Gaz à effet de serre

PCB: Polychlorobiphényles

ETM: Métaux lourds

CO₂: Carbone dioxyde

HAP: Hydrocarbures aromatique

Polycycliques

UV: Ultraviolets

PLA: acide Poly lactique

EPI: Equipements de protection

individuelle

ODD : Objectifs de développement

durable

Introduction Générale

Introduction générale

L'industrie pétrochimique est un secteur industriel très important. Alimenté par les dérivés du raffinage du pétrole ou du gaz naturel, il est la source principale de plusieurs produits utilisés dans la vie quotidienne. Il satisfait aussi, le besoin des autres secteurs en intermédiaires et matières transformables en objets finaux. Des millions de tonnes sont produites par cette industrie dont certaines matières sont non recyclables ou difficilement recyclables après leur usage. Elles représentent de ce fait, de sérieux problèmes environnementaux.

Parmi ces matières produites par l'industrie pétrochimique, figurent les matières plastiques. Elles sont fabriquées par différents procédés de polymérisations à partir des molécules simples appelées monomères qui sont de leur part d'origine fossile.

Le développement économique de certaines payses telles que la Chine et l'Inde a suscité une progression mondiale énorme en matières plastiques. Nous produisons plus, nous jetons plus et donc nous polluons plus. Toutefois, cet emballement de la consommation de plastiques a un coût pour l'environnement : chaque minute c'est l'équivalent d'un camion-poubelle de déchets plastiques qui se déverse dans les océans. Malgré les législations et décrets adaptés par les nations lors des commissions et conférences, la planète risque toujours de pollution qui vient de l'utilisation des matières fossiles. La pollution plastique est en fait multiforme, avec une pollution visible par les macro plastiques à laquelle s'ajoutent deux autres pollutions plus insidieuses mais tout aussi préoccupantes : la pollution par les micro plastiques et la pollution par les nano plastiques.

L'une des solutions adaptées qui semble avoir un effet tant sur le point économique qu'environnemental et le recyclage ou la réutilisation des déchets plastiques. Elle permet de ce fait, de réduire la quantité des produits plastiques et par conséquent la diminution de la pollution.

Ce manuscrit est présenté en trois (03) chapitres. Il est réparti comme suit :

Le premier chapitre traite d'une façon approfondie les différentes matières issues de l'industrie pétrochimique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'impact des matières de l'industrie pétrochimique sur l'environnement.

Le troisième chapitre traite quant à lui, les solutions aux problèmes de pollution des déchets plastiques et les perspectives de l'industrie pétrochimique.

CHAPITRE 01

Les produits de la pétrochimie

1. Introduction

Les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) sont la matière première de l'industrie chimique et la source d'énergie la plus utilisée dans le monde : ils fournissent plus de 80% de l'énergie utilisée, loin devant l'énergie nucléaire et les autres formes d'énergie (hydraulique, éolienne, solaire...). Les besoins mondiaux en énergie ont augmenté de façon considérable au cours du vingtième siècle et le développement des pays émergents comme la Chine permet de prévoir une augmentation encore plus rapide dans les prochaines décennies. L'Agence Internationale de l'Énergie prévoit que la demande des vingt-cinq prochaines années nécessitera une production égale à celle des cent cinquante années d'exploitation des combustibles fossiles. Mais les ressources ne sont pas inépuisables : ces produits sont formés par une succession de mécanismes biologiques et géologiques qui mettent des millions d'années à s'accomplir, ces ressources ne sont donc pas renouvelables à une échelle de temps humaine [1].

2. Nature des différents combustibles fossiles

2.1. Le charbon

Le charbon est une variété particulière de kérogène formée à partir de matière organique de végétaux supérieurs (arbres, fougères...). Sa pyrolyse va conduire à des composés de plus en plus riches en carbone (le bois est constitué d'environ 50% de carbone) : la tourbe (50 à 55%), le lignite (55 à 75%), la houille (75 à 90%) et l'anthracite (> 95%) qui est le charbon proprement dit (voir la Figure I.1). Comme pour les autres kérogènes, la pyrolyse du charbon génère du pétrole et du gaz naturel. C'est ce dernier qui est responsable du « coup de grisou » dans les mines de charbon [5].

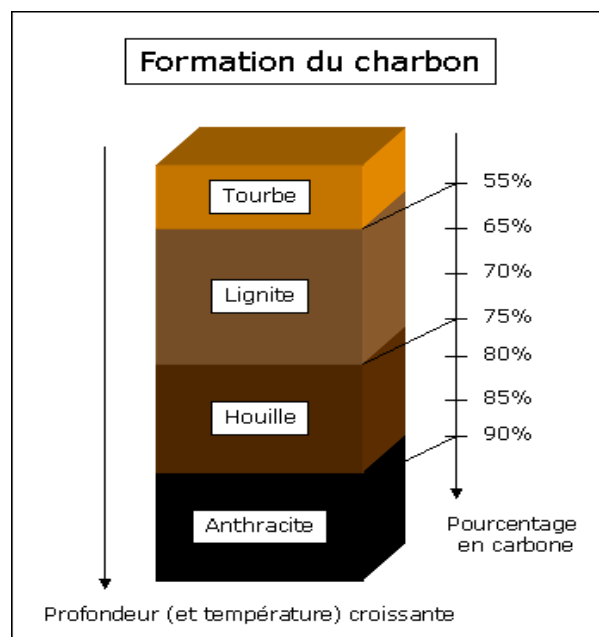

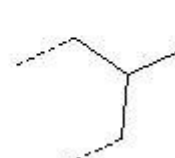

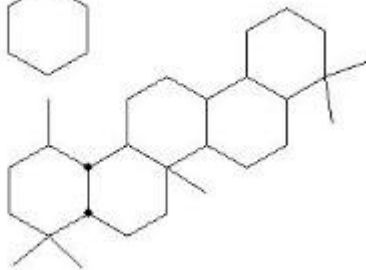

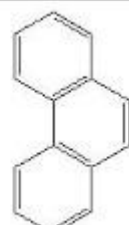
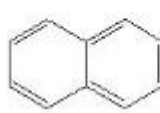


Figure I.1. Formation du charbon

2.2. Le pétrole

La composition de chaque gisement est unique et dépend de son passé biologique et géologique. On y trouve plusieurs milliers de molécules différentes, essentiellement des hydrocarbures. Les pétroles sont classés en trois catégories principales en fonction de leur constituant majoritaire.

Pétrole	Constituants majoritaires	Exemples
Paraffiniques	Ils contiennent une grande quantité d'alcanes, linéaires (paraffines) ou ramifiés (isoparaffines), non-cycliques	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>alcanes linéaires </p> <p>ramifiés </p> </div>
Naphténiques	Ils contiennent une grande quantité d'hydrocarbures cycliques (cyclohexane ou « naphtène » et dérivés) et polycycliques	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>cyclohexane </p> <p>triterpane </p> </div>
Aromatiques	Ils contiennent une grande quantité de composés aromatiques (benzène et dérivés)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>benzène  phénantrène </p> <p>naphtalène </p> </div>

Le pétrole brut, c'est à dire avant raffinage contient également des éléments autres que le carbone et l'hydrogène : le soufre est le plus abondant (à hauteur de 0.2 à 5 %). viennent ensuite l'azote et l'oxygène (de 0 à 1 %). On trouve également des cations métalliques complexés (vanadium, nickel) [2].

2.3. Le gaz naturel

À grande profondeur, les hydrocarbures formés par pyrolyse peuvent subir des réactions de craquage. Ils sont alors transformés en alcanes de plus en plus légers, jusqu'au méthane CH₄ :

Le plus simple des alcanes et principal constituant du gaz naturel (70 à 95 %) (Voir La figuresuivante). D'un gisement à l'autre. on peut trouver des quantités variables en

- éthane. propane et butane : alcanes gazeux à température et pression ambiante
- alcanes de 5 à 8 atomes de carbone qui se liquéfient à température ambiante et pression atmosphérique pour former le condensat de gaz naturel
- sulfure d'hydrogène. Le gisement de Lacq. en France. contenait 15 % de sulfure d'hydrogène. ce qui a justifié la construction d'une unité de récupération et d'exploitation de ce gaz
- diazote. dioxyde de carbone

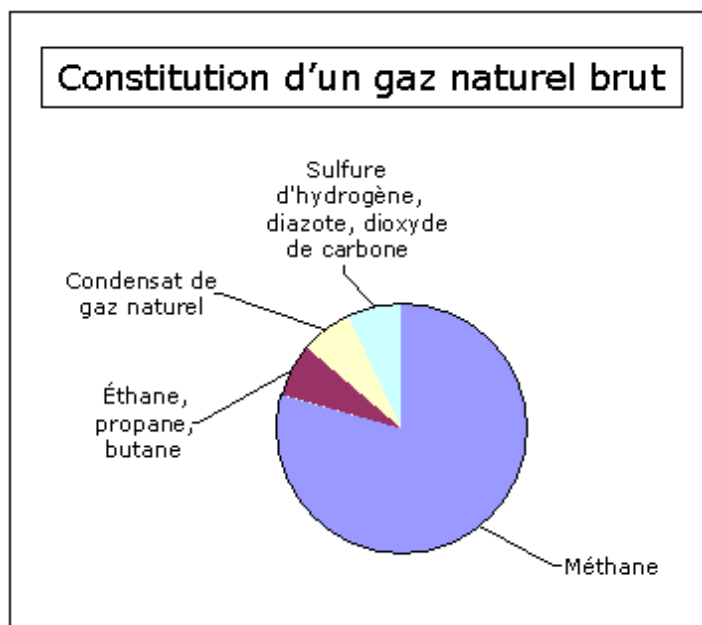


Figure I.2. Constitution d'un gaz naturel brut

Il faut noter que le cinquième des réserves de gaz naturel est formé. non pas par la pyrolyse du kérogène. mais par la décomposition de la matière organique par des bactéries. On parle alors de gaz biogénique par opposition au gaz thermogénique.

Ce passage met en évidence que 20 % des réserves de gaz naturel proviennent de la décomposition de la matière organique par des bactéries, processus qui produit du gaz biogénique. En revanche, le reste des réserves est formé principalement par la pyrolyse du kérogène, ce qui génère du gaz thermogénique [3].

3. Les principaux procédés du raffinage du pétrole:

L'objet du raffinage du pétrole brut est de convertir la matière première (pétrole brut) en

des produits utiles et commercialisables. Dans les raffineries, le pétrole brut est transformé en différents produits dont:

- ⇒ des carburants pour les voitures, les camions, les avions, les navires et les autres formes de transport.
- ⇒ des fuels de combustion pour la génération de chaleur et d'énergie pour l'industrie et l'habitat.
- ⇒ des matières brutes pour les industries pétrochimiques et chimiques.
- ⇒ des produits spécialisés comme les lubrifiants, les paraffines/cires et le bitume.
- ⇒ de l'énergie en tant que sous-produit sous la forme de chaleur (vapeur d'eau) et d'énergie (électricité).

Afin de fabriquer ces produits, ces matières brutes sont traitées dans un certain nombre d'installations de raffinage différentes. La combinaison de ces unités de traitement pour convertir le pétrole brut en produits, y compris les unités et les infrastructures annexes est appelée une raffinerie. La demande du marché pour ce type de produits, la qualité du brut disponible et certaines exigences des autorités influencent la taille, la configuration et la complexité d'une raffinerie.

Les opérations et les procédés de raffinage du pétrole peuvent être classés en quelques grandes catégories : séparation, conversion, traitement, formulation, mélange, opérations de raffinage auxiliaires et opérations de raffinage sans traitement [3].

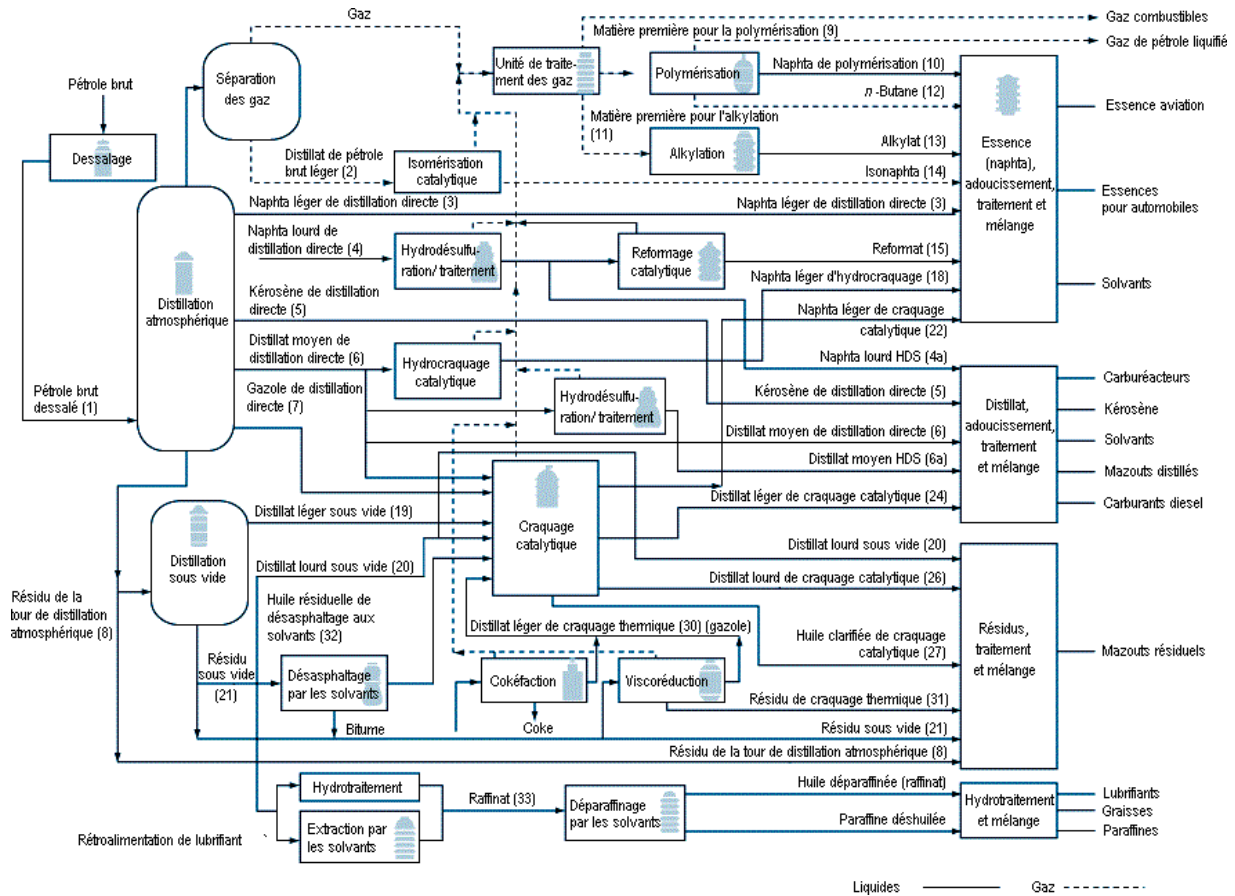


Figure I.3. Schéma type des procédés de raffinage

3.1.Séparation: Le pétrole brut est séparé physiquement par fractionnement, dans des tours de distillation atmosphérique et sous vide, en groupes d'hydrocarbures possédant différents intervalles d'ébullition, appelés «fractions» ou «coupes».

En plus de la distillation atmosphérique et sous vide, plusieurs autres méthodes de séparation sont utilisées dans le raffinage du pétrole brut pour isoler et purifier les différents composants hydrocarbonés. Voici quelques-unes des principales méthodes :

1. Craquage (ou cracking):

- Craquage catalytique: Utilise des catalyseurs pour briser les molécules lourdes en molécules plus légères. Ce processus se fait à haute température et en présence de catalyseurs, produisant des hydrocarbures plus légers comme les essences et le diesel.
- Craquage thermique: Réalise le même but que le craquage catalytique mais sans catalyseurs, simplement en utilisant la chaleur. Un exemple est le processus de viscoréduction, qui réduit la viscosité des résidus lourds.

2. Reformage catalytique:

- Transforme les hydrocarbures à faible indice d'octane en hydrocarbures à indice d'octane plus élevé, ce qui est crucial pour la production de carburants de haute qualité. Ce processus utilise des catalyseurs et est souvent appliqué au naphta.

3. Hydrotraitement:

- Utilise l'hydrogène pour éliminer les impuretés comme le soufre, l'azote et les métaux des fractions de pétrole. Cela améliore la qualité des produits finis et réduit les émissions de polluants.

4. Alkylation:

- Combine des hydrocarbures légers, comme le butène et l'isobutane, en présence d'un catalyseur acide pour former des molécules plus lourdes à haut indice d'octane, utilisées dans la production de carburants.

5. Isomérisation:

- Réorganise les molécules d'hydrocarbures pour améliorer leurs propriétés, comme l'indice d'octane. Par exemple, elle convertit le butane normal en isobutane.

6. Extraction par solvants:

- Utilise des solvants spécifiques pour extraire certains composants du pétrole brut, comme les aromatiques ou les paraffines. Les procédés d'extraction par solvants permettent de séparer les hydrocarbures en fonction de leur solubilité dans différents solvants.

7. Désasphaltage:

- Sépare les résidus lourds du pétrole brut en utilisant des solvants pour éliminer les asphaltes et autres composants indésirables. Les solvants légers comme le propane sont souvent utilisés pour cette séparation.

8. Déparaffinage:

- Utilisé pour éliminer les cires des huiles lubrifiantes. Ce processus peut être effectué par des méthodes thermiques, catalytiques ou par extraction avec des solvants.

9. Déshydrogénation:

- Transforme les alcanes en alcènes par élimination d'hydrogène, souvent utilisé dans la production de matières premières pour la pétrochimie.

Ces méthodes de séparation permettent de maximiser l'utilisation des différents composants du pétrole brut, améliorant ainsi l'efficacité et la rentabilité des raffineries tout en produisant une large gamme de produits pétroliers finis.

3.2. Conversion: Les procédés de conversion utilisés pour modifier la taille ou la structure des molécules d'hydrocarbures comprennent:

- la décomposition (division) par hydrocraquage, craquage thermique et catalytique, cokéfaction et viscoréduction;
- L'unification par alkylation et polymérisation est un ensemble de procédés dans le raffinage du pétrole où de petites molécules d'hydrocarbures sont combinées pour former des molécules plus grandes et plus complexes. Cela permet d'augmenter la valeur des produits dérivés du pétrole brut en les transformant en composants de carburant de haute qualité. Voici une explication détaillée de chacun de ces procédés.
- l'altération par isomérisation et reformage catalytique.
- le traitement.

3.3. Traitement: Depuis les débuts du raffinage, différentes méthodes de traitement ont été utilisées pour éliminer les composés non hydrocarbonés, les impuretés et les autres constituants qui peuvent nuire aux caractéristiques de performance des produits finis ou réduire l'efficacité des procédés de conversion. Le traitement comporte à la fois des réactions chimiques et une séparation physique comme la dissolution, l'absorption ou la précipitation faisant appel à une variété et à une combinaison de procédés. Les méthodes de traitement comprennent l'élimination ou la séparation des composés aromatiques et des naphènes, ainsi que l'élimination des impuretés et des contaminants indésirables. On utilise des acides et des composés adoucissants pour désulfurer le pétrole brut avant le raffinage et pour traiter les produits durant et après le traitement. Parmi les autres méthodes, on peut citer le dessalage du brut, l'adoucissement chimique, le traitement à l'acide, le traitement à la terre par contact, l'hydrodésulfuration, le raffinage aux solvants, le lavage à la soude caustique, l'hydrotraitement, le séchage, l'extraction par solvants et le déparaffinage aux solvants.

3.4. Formulation et mélange: consiste à mélanger et à combiner des fractions d'hydrocarbures, des additifs et d'autres composés pour obtenir des produits finis possédant des caractéristiques de performance spécifiques.

3.5. Opérations de raffinage auxiliaires: Parmi les autres opérations de raffinage nécessaires lors

du traitement des hydrocarbures. on compte la récupération des fractions légères. l'extraction des eaux acides. le traitement et le refroidissement des déchets solides. des eaux usées et des eaux de procédé. la production d'hydrogène. la récupération du soufre et le traitement des gaz acides et des gaz de queue. D'autres installations fournissent des catalyseurs. des réactifs. de la vapeur. de l'air. de l'azote. de l'oxygène. de l'hydrogène et des gaz combustibles.

3.6. Opérations de raffinage sans traitement: Toutes les raffineries ont une multitude d'installations. d'équipements et de systèmes qui sont indispensables aux opérations de traitement des hydrocarbures telles que la production de chaleur et d'électricité. le transport des produits. les réservoirs de stockage. l'expédition et la manutention. les torchères et les systèmes de décharge. les fours et les appareils de chauffage. les alarmes et les capteurs. l'échantillonnage. les essais et l'inspection. Parmi les installations ne servant pas au traitement figurent les dispositifs de lutte contre l'incendie. d'alimentation en eau et de protection. de réduction du bruit et de lutte contre la pollution. les laboratoires. les salles de commande. les entrepôts. les ateliers d'entretien et les bâtiments de l'administration [4-6].

4. Types des matières premiers pour la pétrochimie

La définition des produits pétrochimiques exclut les produits pétroliers, les lubrifiants, l'asphalte et le coke de pétrole. mais inclut les produits chimiques produits à partir d'autres matières premières telles que le charbon. les schistes bitumineux et la biomasse qui pourraient bien être les sources de produits chimiques dans l'avenir. Ainsi, les produits pétrochimiques sont, au sens le plus strict, différents des produits pétroliers dans la mesure où les produits pétrochimiques sont les briques de base de l'industrie chimique. Les produits pétrochimiques se retrouvent dans des produits aussi divers que les plastiques. Les polymères, le caoutchouc synthétique, les fibres synthétiques, les détergents, les produits chimiques industriels et les engrais (Tableau .1). Les produits pétrochimiques sont utilisés pour la production de plusieurs matières premières et de monomères et précurseurs de monomères. Les monomères après le processus de polymérisation créent plusieurs polymères qui sont finalement utilisés pour produire des gels, des lubrifiants, des élastomères, des plastiques et des fibres.

Tableau I.1. Exemples de produits de l'industrie pétrochimique

Groupe	Domaines d'utilisation
Plastiques et polymères	Gestion de l'eau agricole Emballage Voitures Télécommunications La santé et l'hygiène Transport
Caoutchouc synthétique	Industrie du transport Électronique Adhésifs Scellant Revêtements
Fibres synthétiques	Textile Transport Tissus industriels
Détergents	La santé et l'hygiène
Produits chimiques industriels	Médicaments Pesticides Explosifs Revêtement de surface Teintures Additifs d'huile de graissage Adhésifs Produits chimiques pour champs pétrolifères Antioxydants Encre à imprimer Des peintures Inhibiteurs de corrosion Solvants Parfums Additifs alimentaires
Engrais	Agriculture

A titre de définition et de clarification en ce qui concerne l'industrie pétrochimique et chimique, les matières premières primaires sont des substances d'origine naturelle qui n'ont pas

subi de modifications chimiques après avoir été récupérées. Actuellement, à travers une variété d'intermédiaires, le pétrole et le gaz naturel sont les principales sources de matières premières car ils sont les moins chers, les plus facilement disponibles et peuvent être transformés le plus facilement en produits pétrochimiques primaires. Un produit pétrochimique aromatique est également un composé chimique organique mais qui contient ou est dérivé du système cyclique benzénique de base.

Les produits pétrochimiques primaires comprennent :

- Les dérivés d'oléfines tels que l'éthylène, le propylène et le butadiène
- Les dérivés aromatiques tels que le benzène, le toluène et les isomères du xylène (BTX)
- Le méthanol

Cependant, bien que le pétrole contienne différents types de dérivés d'hydrocarbures, tous les dérivés d'hydrocarbures ne sont pas utilisés dans la production de produits pétrochimiques. L'analyse pétrochimique a permis d'identifier quelques principaux dérivés d'hydrocarbures utilisés dans la production de produits pétrochimiques. Parmi la multitude de dérivés d'hydrocarbures, les dérivés d'hydrocarbures servant de matières premières principales utilisées par les industries pétrochimiques dans la production de produits pétrochimiques sont :

- Les matières premières obtenues à partir du traitement du gaz naturel telles que le méthane, l'éthane, le propane et le butane
- Les matières premières issues des raffineries de pétrole telles que le naphta et le gazole
- Les matières premières telles que le benzène, le toluène et les isomères du xylène obtenus lors de l'extraction du reformat (le produit des processus de reformage à travers des catalyseurs appelés reformeurs catalytiques dans les raffineries de pétrole).

Ainsi, les produits pétrochimiques sont des produits chimiques dérivés du pétrole et du gaz naturel et pour faciliter leur identification, les produits pétrochimiques peuvent être divisés en deux groupes (Figure 4) :

- Produits pétrochimiques primaires
- Intermédiaires et dérivés

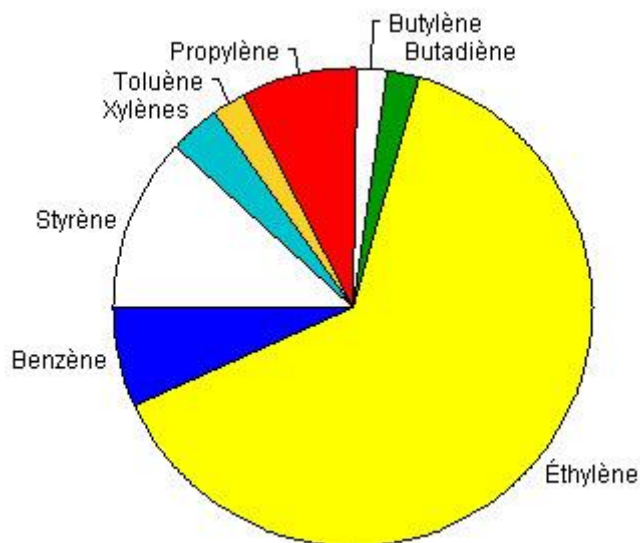


Figure I.4. Produits pétrochimiques primaires

Les produits pétrochimiques primaires comprennent : les oléfines (éthylène, propylène et butadiène), les aromatiques (benzène, toluène et xylènes) et le méthanol. Les intermédiaires pétrochimiques sont généralement produits par conversion chimique de produits pétrochimiques primaires pour former des produits dérivés plus complexes. Les dérivés pétrochimiques peuvent être fabriqués de diverses manières :

- * Directement à partir de produits pétrochimiques primaires ;
- * Par des produits intermédiaires qui ne contiennent encore que du carbone et de l'hydrogène
- * Par des intermédiaires qui incorporent du chlore, de l'azote ou de l'oxygène dans le dérivé fini.

Dans certains cas ce sont des produits finis ; dans d'autres, plus d'étapes sont nécessaires pour arriver à la composition souhaitée [7] [8].

De plus, les matières premières pétrochimiques peuvent être classées en plusieurs groupes généraux : oléfines, aromatiques et méthanol ; un quatrième groupe comprend les composés inorganiques et les gaz de synthèse (mélanges de monoxyde de carbone et d'hydrogène). Dans de nombreux cas, un produit chimique spécifique inclus parmi les produits pétrochimiques peut également être obtenu à partir d'autres sources telles que le charbon, le coke ou des produits végétaux. Par exemple, des matériaux tels que le benzène et le naphthalène peuvent être fabriqués

à partir de pétrole ou de charbon, tandis que l'alcool éthylique peut être d'origine pétrochimique ou végétale.

Ainsi, les produits pétrochimiques primaires ne sont pas des produits finis, mais les éléments constitutifs chimiques d'une large gamme de matériaux chimiques et manufacturés. Par exemple, les intermédiaires pétrochimiques sont généralement produits par conversion chimique de produits pétrochimiques primaires pour former des produits dérivés plus complexes.

Certains intermédiaires pétrochimiques typiques sont :

- L'acétate de vinyle ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}=\text{CH}_2$) pour la peinture, le papier et les revêtements textiles ;
- Chlorure de vinyle ($\text{CH}_2=\text{CH Cl}$) pour le polychlorure de vinyle (PVC) ;
- L'éthylène glycol ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) pour les fibres textiles de polyester ;
- Le styrène ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$), qui est important dans la fabrication du caoutchouc et du plastique.

De tous les procédés utilisés, l'un des plus importants est la polymérisation. Elle est utilisée dans la production de plastiques, de fibres et de caoutchouc synthétique, les principaux dérivés pétrochimiques finis.

5. Industrie Pétrochimique

L'industrie pétrochimique, comme son nom l'indique, est basée sur la production de produits chimiques à partir du pétrole. Cependant, l'industrie ne se limite pas aux produits pétroliers. L'industrie pétrochimique traite également des produits chimiques fabriqués à partir des sous-produits du raffinage du pétrole, tels que le gaz naturel, les liquides de gaz naturel et d'autres matières premières telles que le charbon, le schiste bitumineux et la biomasse. La structure de l'industrie est extrêmement complexe, impliquant des milliers de produits chimiques et de processus et il existe de nombreuses interrelations au sein de l'industrie, les produits d'un processus étant les matières premières de nombreux autres. Pour la plupart des produits chimiques, la voie de production de la matière première aux produits finis n'est pas unique mais comprend de nombreuses alternatives possibles.

5.1. La chaîne de production

Au début de la chaîne de production se trouvent les matières premières brutes : pétrole, gaz naturel et matières premières carbonées alternatives goudron. A partir de ceux-ci sont produits un nombre relativement petit de blocs de construction importants qui comprennent principalement.

mais pas exclusivement, les oléfines à bas point d'ébullition et les dérivés aromatiques le benzène, le toluène et les isomères du xylène. Ces blocs de construction sont ensuite convertis en un ensemble complexe de milliers de produits chimiques intermédiaires. Certains de ces intermédiaires ont une valeur commerciale en eux-mêmes et d'autres sont des composés purement intermédiaires dans les chaînes de production

Ainsi, sur une base scientifique, l'industrie pétrochimique est concernée par la production et le commerce de produits pétrochimiques qui ont une large influence sur les modes de vie à travers la production de produits chimiques de base et de spécialités chimiques qui ont une influence marquée sur les modes de vie :

Pétrole/gaz naturel → Produits chimiques de base → Produits chimiques de spécialité

5.2. La base de l'industrie pétrochimique

La base de l'industrie pétrochimique et, par conséquent, de la production pétrochimique se compose de deux étapes : (a) la production de matières premières à partir de sources d'énergie primaires en matières premières et (b) la production pétrochimique à partir de matières premières.

Pétrole/gaz naturel → Production de matières premières → Produits pétrochimiques

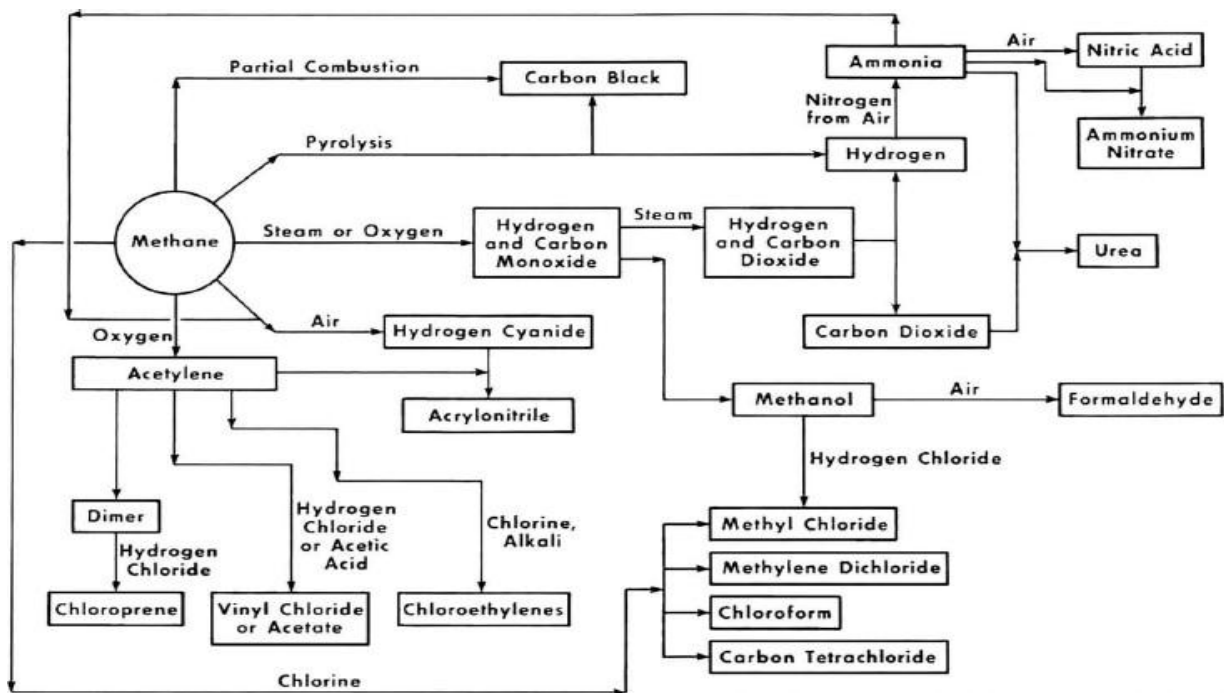


Figure I.5. Produits chimiques issus du méthane.

Dans l'industrie pétrochimique, les produits chimiques organiques produits dans les plus gros volumes sont le méthanol (alcool méthylique, CH_3OH), l'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), le propylène ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$), le butadiène ($\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2$), le benzène (C_6H_6), le toluène ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) et les isomères du xylène ($\text{H}_3\text{CC}_6\text{H}_4\text{CH}_3$). L'éthylène, le propylène et le butadiène, ainsi que les butylènes, sont collectivement appelés oléfines. Ils appartiennent à une classe de dérivés d'hydrocarbures aliphatiques insaturés ayant la formule générale C_nH_{2n} . Les dérivés d'oléfinés contiennent une ou plusieurs doubles liaisons ($>\text{C}=\text{C}<$), qui les rendent chimiquement réactifs et, par conséquent, les matières premières de nombreux produits. Le benzène, le toluène et les xylènes (communément appelés aromatiques) sont des dérivés d'hydrocarbures cycliques insaturés contenant un ou plusieurs cycles.

Comme indiqué ci-dessus, certains des produits chimiques et composés produits dans une raffinerie sont destinés à un traitement ultérieur et comme matières premières pour l'industrie pétrochimique à croissance rapide. Ces utilisations non énergétiques des produits pétroliers bruts sont parfois appelées ses utilisations non énergétiques. Les produits pétroliers et le gaz naturel fournissent deux des points de départ de base de cette industrie : le méthane (Figure 5), le naphta- y compris le benzène, le toluène et les isomères du xylène et les gaz de raffinerie qui contiennent des dérivés d'oléfinés tels que l'éthylène, le propylène et, potentiellement, tous des isomères du butylène.

Les intermédiaires pétrochimiques sont généralement produits par conversion chimique de produits pétrochimiques primaires pour former des produits dérivés plus complexes. Les produits dérivés de la pétrochimie peuvent être fabriqués de diverses manières : directement à partir de produits pétrochimiques primaires ; par des produits intermédiaires qui ne contiennent encore que du carbone et de l'hydrogène ; et par des intermédiaires qui incorporent du chlore et de l'azote ou de l'oxygène dans le dérivé fini.

Les produits finaux se comptent par milliers, certains servant d'intrants à l'industrie chimique pour un traitement ultérieur. Les produits les plus courants fabriqués à partir de produits pétrochimiques comprennent les adhésifs, les plastiques, les savons, les détergents, les solvants, les peintures, les médicaments, les engrais, les pesticides, les insecticides, les explosifs, les fibres synthétiques, le caoutchouc synthétique, les revêtements de sol et les matériaux isolants.

5.3. Les produits pétrochimiques

Les produits pétrochimiques comprennent des articles tels que les plastiques, les savons et les détergents, les solvants, les médicaments, les engrais, les pesticides, les explosifs, les fibres synthétiques et les caoutchoucs. Les peintures, les résines époxy, les revêtements de sol et les matériaux isolants. Les produits pétrochimiques se trouvent dans des produits aussi divers que l'aspirine, les bagages, les bateaux, les automobiles, les avions, les vêtements en polyester et les disques et bandes d'enregistrement.

L'industrie pétrochimique s'est développée avec l'industrie pétrolière et est considérée par certains comme une industrie mature. Cependant, il doit également évoluer pour répondre à l'évolution des besoins technologiques. La fabrication de produits chimiques ou d'intermédiaires chimiques à partir de diverses matières premières est bien établie. Et l'utilisation du pétrole et du gaz naturel est un excellent exemple de la conversion de ces matières premières en produits plus précieux. Les produits chimiques individuels fabriqués à partir du pétrole et du gaz naturel sont nombreux et comprennent des produits chimiques industriels, des produits chimiques ménagers, ainsi que des intermédiaires pour la fabrication de produits tels que le caoutchouc synthétique et les plastiques.

Les produits pétrochimiques sont généralement considérés comme des composés chimiques dérivés du pétrole. soit par fabrication directe. soit par fabrication indirecte. en tant que sous-produits de la variété de procédés utilisés lors du raffinage du pétrole. L'essence. le kérosène. le fioul. l'huile lubrifiante. la cire. l'asphalte. etc. sont exclus de la définition des produits pétrochimiques. car ils ne sont pas à proprement parler des composés chimiques mais sont en fait des mélanges intimes de dérivés d'hydrocarbures.

La classification des matériaux en tant que produits pétrochimiques est utilisée pour indiquer la source des composés chimiques, mais il ne faut pas oublier que de nombreux produits pétrochimiques courants peuvent être fabriqués à partir d'autres sources et la terminologie est donc une question d'identification de la source.

Les matières premières pour l'industrie pétrochimique sont obtenues à partir du pétrole brut de l'une des deux manières générales. Ils peuvent être présents dans le pétrole sont isolés par des méthodes physiques telles que la distillation ou l'extraction par solvant. D'autre part, ils peuvent être présents à l'état de traces et sont synthétisés lors des opérations de raffinage. En effet, les dérivés d'hydrocarbures insaturés (oléfines), qui ne sont

généralement pas présents dans le pétrole brut, sont presque toujours fabriqués comme intermédiaires au cours des différentes séquences de raffinage.

La fabrication de produits chimiques à partir du pétrole est basée sur la réponse immédiate des différents types de composés aux réactions chimiques de base, telles que l'oxydation, l'halogénéation, la nitration, l'addition de déshydrogénation, la polymérisation et l'alkylation. Les paraffines et les oléfines de bas poids moléculaire. Comme on les trouve dans le gaz naturel et les gaz de raffinerie. et les dérivés d'hydrocarbures aromatiques simples ont jusqu'à présent été les plus intéressants car ce sont des espèces individuelles qui peuvent être facilement isolées et traitées. Une large gamme de composés est possible, beaucoup sont en cours de fabrication et nous progressons maintenant vers le stade où un groupe important de produits est préparé à partir des fractions les plus lourdes du pétrole. Par exemple, les différentes réactions des constituants des asphaltènes indiquent que ces matériaux peuvent être considérés comme contenant des fonctions chimiques et sont donc différents et sont capables de participer à de nombreuses conversions chimiques ou physiques. L'effet global de ces modifications est la production de matériaux qui donnent soit des cokes aromatiques de bonne qualité relativement facilement. soit la formation de produits portant des groupes fonctionnels qui peuvent être utilisés comme matériau non combustible [9] [10].

6. Les grands procédés de l'industrie pétrochimique

6.1. Alkylation

Cette partie est consacrée à la description du procédé d'alkylation des aromatiques qui ont une importance industrielle :

* le benzène;

* à une échelle beaucoup moindre. le phénol.

L'alkylation des amines aromatiques (aniline. naphylamines. etc.) ne concerne que des volumes faibles et n'est citée ici à titre indicatif. L'introduction du radical alkyle peut se faire sur un atome de carbone situé en fonction des conditions dans lesquelles se fait la réaction soit dans le noyau aromatique, soit dans une chaîne latérale.

6.1.1. Production des alyte benzènes

L'industrie des détergents a remplacé dans les années 40 les savons naturels par des sulfonâtes de dodécyl benzène. La non-biodégradabilité de ces derniers. due à leur structure

fortement ramifiée conduit à l'accumulation de mousses sur les réseaux hydrauliques. À partir

de 1960, les benzènes, souvent préparés à partir de tétramères du propylène, ont été remplacés par des dérivés préparés à partir d'oléfines linéaires. Deux procédés sont utilisés sur le plan industriel. Le plus ancien au chlorure d'aluminium et le plus courant à l'acide fluorhydrique.

6.1.2. Production des alkyl phénols

La production mondiale des alkyl phénols est de 500 000 tonnes/an en 1995. réparti commémonté sur le tableau 2.

Tableau I.2 : Production mondiale des alkyl phénols en 1995

Nonyl phénols	200 000 t/an
xylénol-2.6	100 000 t/an
3 isomères du crésol	100 000 t/an
mono- et di-butyle phénols	l'essentiel du complément

Les dérivés mono et di-alkyles sont produits conjointement et, en général, les produits poly alkyles. La production est orientée :

- Vers celle des isomères ortho. ou 2.6 dans le cas du phénol d'alkyle. par les catalyseurs peu acides:

- l'alumine. vers 300°C. dans le cas de l'alkylation en phase gazeuse du phénol par le méthanol pour obtenir l'o-crésol.
- l'aluminium métallique. dont la réaction avec le phénol présent dans le milieu génère in situ le complexe catalytique. dans la production du 2.6-di-tert-butylphénol en phase liquide vers 80°C.

- Vers celle de l'ensemble des isomères par les catalyseurs plus acides :

- acides sulfonés. catalyseurs à base d'alumine et de silice. acide phosphorique et trifluorure de bore. acide sulfurique comme dans le cas de l'alkylation du phénol par les nonnes.
- Une augmentation du temps de séjour et/ou une élévation de température entraîne la formation de l'isomère para aux dépens de l'isomère ortho.

6.1.3. Production des crésols et des retenons par alkylation du phénol par le méthanol

Les vapeurs de phénol et de méthanol traversent un réacteur tubulaire dont les tubes sont

garnis de catalyseur à base d'alumine et maintenus vers 300°C par la circulation d'un fluide caloporteur ; environ 45 % du phénol est converti ; les effluents sont distillés pour séparer

Successivement, le méthanol, le phénol, les crésols (en majorité l'isomère ortho), les xylols et les lourds.

6.2. La polymérisation

un processus qui consiste à combiner chimiquement des molécules relativement petites appelées monomères pour produire des polymères.

Quel que soit le type de polymérisation (polymérisation en chaîne, polycondensation) auquel elles se rattachent, les réactions de synthèse industrielle des polymères sont effectuées selon cinq techniques principales : polymérisation en masse, en solution, en suspension, en émulsion et en phase gazeuse.

6.2.1. Types de polymérisation

Les polymères sont formés dans deux types de réactions différentes. Elles dépendent des groupes fonctionnels du ou des monomères utilisés :

Les polymères d'addition sont fabriqués à partir de monomères comportant une double liaison. Ces monomères sont à base d'éthane et il n'y a pas de sous-produit.

Les polymères de condensation sont fabriqués à partir de monomères possédant deux groupes fonctionnels différents. Une petite molécule est libérée lors de la réaction, généralement de l'eau.

6.2.1.1. Polymérisation par addition (ou polymérisation en chaîne)

La polymérisation en chaîne nommée aussi polymérisation par addition est la réunion de monomères avec la double liaison pour former une grande molécule connue sous le nom de polymère. Ce processus ne produit pas d'autres sous-produits.

Les alcènes peuvent subir une polymérisation par addition pour former des polymères à longue chaîne d'hydrocarbures appelés poly alcènes. Les monomères utilisés peuvent tous être le même alcène, ou de plusieurs types différents. La double liaison de chaque monomère s'ouvre et se lie au monomère adjacent pour former un squelette.

6.2.1.2. Polymérisation radicalaire

La polymérisation radicalaire est un type de polymérisation par addition dans laquelle un radical libre rejoint des monomères non radicaux dans une chaîne formant un polymère.

Le radical est initié par un chauffage ou un rayonnement. Cela détruit une liaison de manière homolytique ce qui signifie qu'un électron essaie de se rendre dans chacune des deux nouvelles molécules créant ainsi deux radicaux libres. Le radical s'ajoute ensuite à un monomère., formant un radical plus grand [11].

7. Produits de l'industrie pétrochimique

La fabrication des produits pétrochimiques débute par la transformation des matières premières (pétrole et gaz naturel) en charge d'alimentation puis en composés chimiques de base, en composés chimiques intermédiaires (ou dérivés), en produits finaux et enfin en biens de consommation. Moins de 15 produits pétrochimiques de base servent ainsi à fabriquer des milliers de biens de consommation. Comme l'illustre le diagramme ci-dessous.

Les produits pétrochimiques servent à fabriquer de nombreux biens de consommation et biens industriels, dont plusieurs sont connus sous leur appellation commerciale. Par exemple. le Plexiglas remplace le verre dans les voitures, les avions, les aquariums et les électroménagers. Utilisé comme revêtement antiadhésif pour les poêles à frire. Le Téflon entre dans la fabrication de tubes résistant aux produits chimiques, de matériel médical (tubes d'injection) et de composants microélectroniques. du fait de ses propriétés de résistance à la chaleur extrême et à l'acidité. Le tissu Goretex permet de créer des vêtements, chaussures et accessoires imperméables et respirant, dont des bottes et manteaux de randonnée et d'escalade. Fibre synthétique cinq fois plus résistante que l'acier. Le Kevlar ne se corrode et ne se rouille pas. Il s'agit d'une fibre recherchée pour la fabrication des gilets pare-balles, des parachutes et de matériaux composites utilisés dans les avions et bateaux. Le nylon est un fil synthétique qui a été inventé en 1938 pour remplacer la soie. S'il est surtout utilisé pour faire des bas. on s'en sert également dans la fabrication de parachutes, cordons, voiles de mariée et cordes de guitare. L'usage de produits pétrochimiques est grandement répandu. [12].

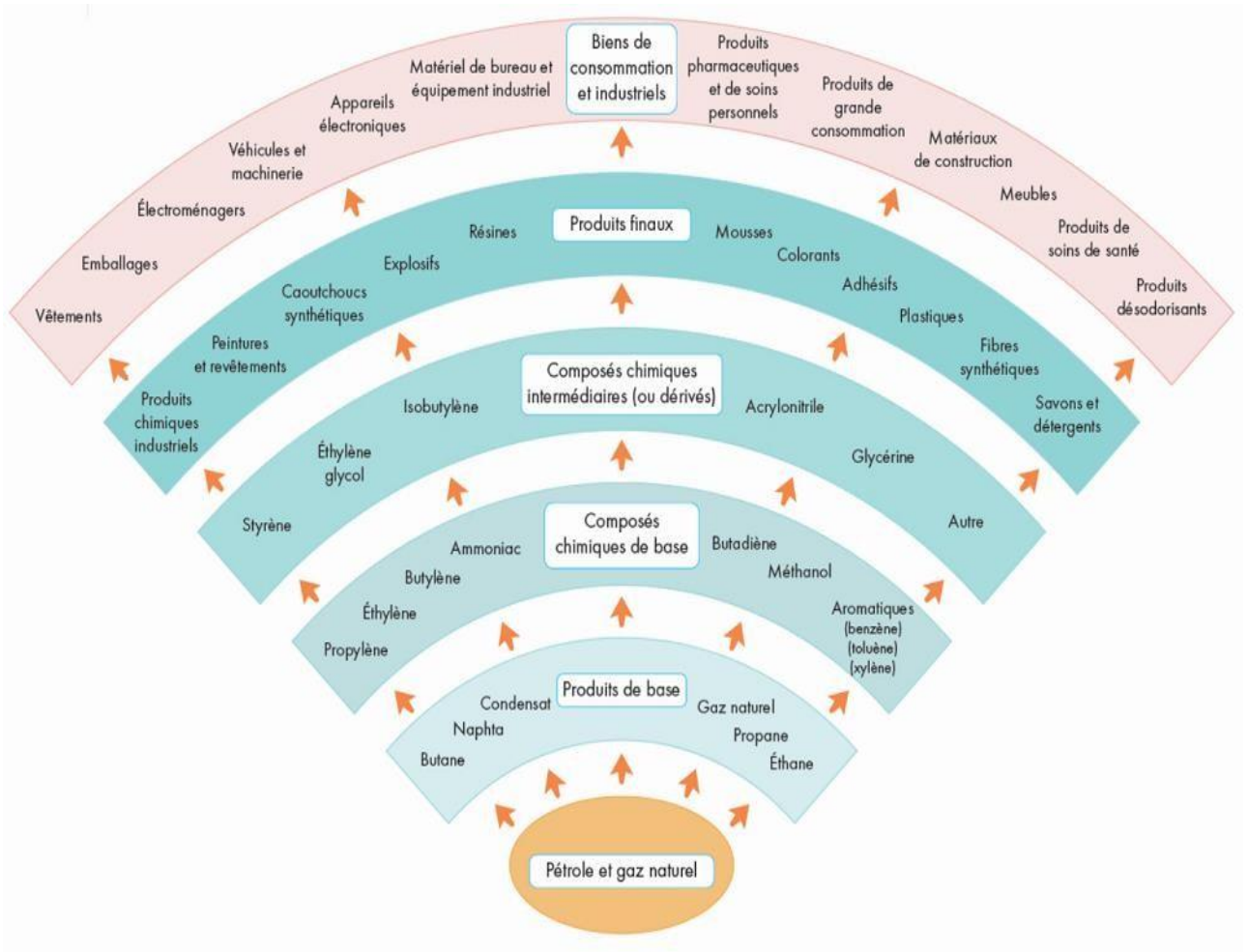


Figure I.6. Diagramme des produits pétrochimique.

CHAPITRE 02

*L'impact de l'industrie pétrochimique sur
l'environnement*

1. Introduction

L'industrie pétrochimique joue un rôle crucial dans l'économie mondiale, fournissant une vaste gamme de produits allant des carburants aux plastiques, en passant par les produits chimiques essentiels. Cependant, cette industrie a un impact significatif sur l'environnement, englobant plusieurs aspects allant de la pollution de l'air et de l'eau à la gestion des déchets et aux émissions de gaz à effet de serre.

Tout d'abord, les raffineries et les usines pétrochimiques émettent de grandes quantités de polluants atmosphériques, y compris des composés organiques volatils (COV), des oxydes d'azote (NO_x), et des dioxyde de soufre (SO₂), qui contribuent à la pollution de l'air et aux problèmes de santé publique. De plus, les émissions de gaz à effet de serre, telles que le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), provenant de la combustion de combustibles fossiles et des processus chimiques, exacerbent le changement climatique mondial.

En outre, la production et le traitement des produits pétrochimiques peuvent entraîner la contamination des sols et des eaux. Les déversements accidentels de pétrole et de produits chimiques, ainsi que les fuites chroniques, peuvent causer des dommages écologiques considérables, affectant la faune, la flore et les ressources en eau potable. La gestion des déchets, incluant les déchets solides et les boues toxiques, pose également un défi majeur, nécessitant des techniques de traitement et de disposition sécurisées pour minimiser les impacts environnementaux.

Enfin, l'utilisation intensive de ressources naturelles non renouvelables, comme le pétrole et le gaz naturel, soulève des préoccupations quant à la durabilité de cette industrie. L'extraction de ces ressources entraîne souvent la déforestation, la perturbation des écosystèmes et la dégradation des habitats naturels.

2. Les matières plastiques

On distingue deux grandes classes de matières plastiques : les thermoplastiques et les thermodurcissables. Tous les deux sont des matériaux polymériques. Il existe des polymères naturels et synthétiques produits à partir de la polymérisation du monomère. Pour les thermodurcissables la polymérisation se fait en deux étapes. l'étape finale se fait dans le moule

sous l'effet de la chaleur et la pression à l'aide de catalyseur.

2.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont constitués de polymères formés de longues chaînes appelées macromolécules composées d'éléments de base (les monomères) collés les uns aux autres comme les perles d'un collier. L'opération de production du polymère s'appelle la polymérisation [2].

Les thermoplastiques forment environ 80% de la production des matières polymériques. Ils sont transformés après fusion sous l'effet de la chaleur. C'est à dire qu'on peut leur donner différentes formes lorsqu'ils sont à l'état fondu ou visqueux.

Les thermoplastiques sont transformés à l'aide de plusieurs procédés de mise en œuvre principalement l'extrusion, l'injection et le thermoformage. Le matériau est refroidi à la fin du procédé afin de lui permettre de conserver sa forme. Il existe actuellement différents types de thermoplastiques avec des propriétés différentes : souples, rigides, transparents... A la différence des thermodurcissables, les thermoplastiques ne sont pas modifiés chimiquement pendant leur mise en œuvre et par conséquent peuvent être ramollis et recyclés formant ainsi une deuxième génération de matériau avec des propriétés mécaniques inférieures mais acceptables.

2.2. Les thermodurcissables

Les thermodurcissables aussi ont un vaste domaine d'applications surtout dans la construction à cause de leurs bonnes propriétés mécaniques et leur résistance au fluage. Les modifications chimiques subies par les thermodurcissables lors de leur mise en œuvre sous l'effet de la chaleur et la pression ne leur permettent plus d'être fondus et moulés une seconde fois; les modifications subies par la matière sont irréversibles. La transformation des thermodurcissables se fait en deux étapes. l'étape finale a lieu dans le moule sous l'effet de la chaleur, la pression et les catalyseurs requis. Pendant la polymérisation les thermodurcissables se réticulent et forment un système moléculaire tridimensionnel rigide, infusible et insoluble [13].

3. Les différentes voies de pollution:

Les pollutions induites par les activités humaines sont nombreuses et diversifiées.

Une pollution peut résulter de l'introduction d'un polluant dans un milieu ou d'une perturbation des conditions du milieu. Elle entraîne la dégradation d'un écosystème. Un polluant est une substance artificielle ou naturelle introduite par l'Homme dans un milieu où elle était auparavant absente ou présente en faible quantité. Les pollutions peuvent être diffuses. C'est-à-dire dues à de multiples rejets de polluants dispersés dans l'espace et dans le temps (et donc difficilement identifiables).

Les pollutions liées aux activités humaines touchent tous les aspects de l'environnement: air, eau (douce, salée). Sols, sédiments et enfin êtres vivants. Il existe ainsi différentes catégories de pollutions qui peuvent être classées soit en fonction de la nature de leurs polluants, du compartiment de l'environnement affecté ou de la nature de ses effets.

3.1. Les pollutions mécaniques

Les pollutions mécaniques se réfèrent à une forme de pollution environnementale résultant d'activités mécaniques et industrielles qui affectent directement l'environnement physique, notamment les sols, les eaux et l'air. Voici quelques exemples de pollutions mécaniques :

1. Pollution de l'air :

- Émissions de particules fines (PM10 et PM2,5) provenant des moteurs à combustion, des cheminées industrielles, et des activités de construction et de démolition.
- Émissions de gaz nocifs comme les oxydes d'azote (NOx), le dioxyde de soufre (SO2), et les hydrocarbures volatils.

2. Pollution de l'eau :

- Déversements d'huiles et de carburants dans les cours d'eau et les océans suite à des accidents ou à des pratiques industrielles inadéquates.
- Dépôts de sédiments et de matériaux de construction qui perturbent les écosystèmes aquatiques et réduisent la qualité de l'eau.

3. Pollution du sol :

- Déversements de produits chimiques et de déchets industriels qui contaminent le sol et affectent la fertilité agricole.
- Accumulation de débris de construction et de démolition qui perturbe les habitats naturels et les écosystèmes terrestres.

4. Impact sur la biodiversité :

- Destruction des habitats naturels par l'urbanisation et l'expansion industrielle.

- Altération des chaînes alimentaires et des cycles biologiques par l'introduction de contaminants dans les écosystèmes.

5. Effets sur la santé humaine :

- Exposition accrue aux particules fines et aux substances chimiques toxiques, entraînant des problèmes respiratoires, des maladies cardiovasculaires et d'autres effets néfastes sur la santé.

- Risques accrus de cancers et d'autres maladies chroniques liés à l'exposition à long terme à des polluants mécaniques.

En résumé, les pollutions mécaniques représentent une menace significative pour l'environnement et la santé publique, nécessitant des mesures réglementaires strictes et des pratiques industrielles durables pour minimiser leur impact néfaste.

3.2. Les pollutions plastiques

La pollution plastique affecte tous les organismes qui peuplent les eaux marines jusqu'à des milliers de mètres de profondeur. Ce type de pollution cause la mort directe de nombreux animaux tels que les tortues marines ou les oiseaux de mer qui l'ingèrent en le confondant avec leur nourriture. ou en provoquant des enchevêtrements (les animaux s'emmêlent dans des déchets plastiques).

Par ailleurs, le plastique se fragmente en particules appelées microplastiques d'une taille inférieure à 5 mm. Elles peuvent alors être ingérées par les espèces marines, notamment le phytoplancton à la base de la chaîne alimentaire et avoir un effet de type perturbateur endocrinien (lorsqu'une molécule perturbe le fonctionnement d'un organisme en modifiant l'action d'une hormone).

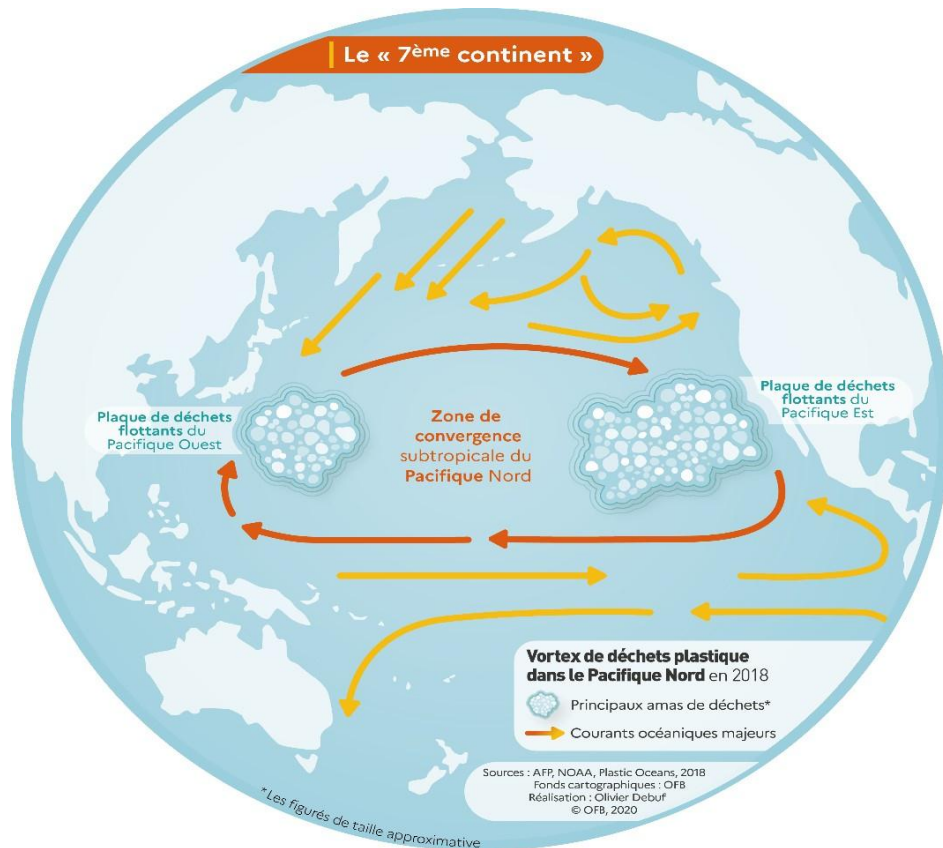


Figure II.1. La Pollution d l'environnement

3. 3. Les pollutions chimiques

Les polluants chimiques tels que les métaux lourds (ETM), les médicaments et les produits vétérinaires, notamment les antibiotiques et les hormones, ou encore les produits phytosanitaires. PCB. HAB. etc.. ont de nombreuses conséquences sur la biodiversité puisqu'ils

se retrouvent dans l'air, les sols, les eaux ainsi que la faune et la flore. Leurs effets ne sont pas encore tous connus.

Ces polluants tuent directement certaines espèces provoquent des maladies en les intoxiquant, ont des effets sur leur reproduction (déclenchent la féminisation des poissons de l'estuaire de la Seine par exemple; fragilisent les œufs de certains oiseaux) ou sur leur comportement. Ils peuvent également réduire la quantité de nourriture disponible (disparition des insectes du fait des pesticides) ou encore déséquilibrer des chaînes alimentaires et des écosystèmes entiers.

3. 4. Les pollutions sonores et lumineuses

Les pollutions ondulatoires sont provoquées par la diffusion dans l'environnement d'ondes avec des longueurs d'onde (fréquences ou intensités) inhabituelles. Elles recouvrent les pollutions sonores et les pollutions lumineuses.

Les pollutions sonores concernent tout le spectre des fréquences. Les infrasons des sonars provoquent une pollution sonore sous-marine et dérangent notamment les baleines qui utilisent le son pour communiquer entre elles et chasser. Les ondes sonores induites par exemple par la circulation automobile peuvent déranger les oiseaux nicheurs.

Les ondes lumineuses ont plusieurs effets néfastes sur la biodiversité. Elles dérèglent les rythmes biologiques des organismes en inactivant par exemple la mélatonine. La présence d'éclairage peut désorienter certaines espèces telles que les oiseaux migrateurs qui utilisent la lumière des étoiles pour se diriger la nuit. Elle constitue une des causes de fragmentation des milieux naturels.

3.5. La pollution thermique et barométrique

3.5.1. La pollution thermique

La pollution thermique affecte durablement les communautés d'espèces en modifiant artificiellement leur microclimat, autrement dit, les conditions climatiques spécifiques à une petite zone géographique. Par exemple, les rejets de certaines installations de production d'énergie.

3.5.2. La pollution barométrique

La variation brusque de la pression atmosphérique peut gravement affecter certaines espèces comme la chauve-souris : lorsqu'elles volent à proximité des pales d'éolienne. la zone de dépression créée par la rotation des pales peut causer une hémorragie interne dont elles succombent.

3.6. Les autres types de pollutions

Les pollutions radioactives engendrent une mortalité des espèces sauvages. mais aussi des maladies et malformations.

Les pollutions électromagnétiques sont encore peu connues et mériteraient des programmes de recherches approfondies.

La pollution olfactive due à la présence humaine est également source de dérangement, car beaucoup d'espèces sont très sensibles au niveau de leur odorat ou dépendent de la communication chimique. L'urbanisation et la pollution ont par exemple des conséquences sur la température. ce qui modifie les émissions odorantes des plantes dont elles se servent pour attirer les insectes pollinisateurs [14][15].

4. Types d'impacts des plastiques

4.1. Impacts socio-économiques

Malgré les difficultés concernant l'évaluation des impacts socio-économiques (tableau 1). la première évidence concerne les conséquences liées à la pollution des zones littorales et notamment des plages et estrans par le plastique. La valeur patrimoniale des sites en est largement affectée. et les enjeux économiques liés au tourisme peuvent être fortement touchés (fermetures récentes de plages très touristiques par exemple). Ces impacts sont souvent d'ordre esthétique et sont traduits et quantifiés par les coûts induits du nettoyage. Le long du littoral. les activités aquacoles peuvent être la cause d'apports conséquents de plastiques au milieu marin, notamment dans les zones de production conchylicoles (huîtres. moules et autres coquillages) et ce en raison des pertes de matériels. Les impacts socioéconomiques concernent également les interventions sous-marines sur le fond des ports ou le long du littoral ainsi que les programmes de sensibilisation et d'éducation à l'environnement.

Chapitre II: L'impact de l'industrie pétrochimique sur l'environnement

En mer, le plastique constitue une pression économique sur la navigation notamment la plaisance en raison des accidents fréquents (rencontre d'obstacles, prises de filets ou feuilles plastiques dans les hélices de bateau ou dans les circuits de refroidissement). Ces impacts sont conséquents également pour les navires de pêche avec pour ces derniers, des coûts additionnels de nettoyages et de réparations des filets ou lignes. Plus globalement, les impacts socio-économiques sont extrêmement divers (liste en tableau 1) et les coûts associés encore mal connus avec des coûts estimés à près de 260 millions d'euros pour les déchets marins des seules eaux européennes. Pour l'ensemble des océans du globe, on estime le préjudice financier à environ 12 milliards d'euros par an [14].

4.2. Impacts sur l'environnement écosystèmes et organismes

Les impacts des plastiques en mer peuvent être présentés selon deux grands types : les impacts globaux à l'échelle des écosystèmes principalement liés au transport d'espèces et les impacts à l'échelle des organismes et populations. Au niveau des écosystèmes, les plastiques constituent en mer un nouvel habitat pour de nombreuses espèces, notamment des macro-organismes benthiques comme des arthropodes, mollusques, hydraires, bryozoaires, et de nombreux micro-organismes, bactéries, virus, champignons. Ces espèces vont coloniser rapidement les déchets plastiques en mer en s'y fixant voire en s'y développant, et vont constituer la **Plastsphère**. Puisque les plastiques sont des matériaux persistants et très mobiles, ils vont avoir la capacité de transporter ces espèces sur de grandes échelles d'espace et de temps.

Exemple : en exposant des huîtres à des micro- ou nano plastiques en laboratoire une réduction de la moitié du nombre de gamètes produits et un retard de croissance de 20 % de la descendance ont été observés [14] ainsi qu'une diminution de la fécondation et du développement des embryons et des larves en lien avec l'apparition de nombreuses malformations.

L'alimentation des bivalves n'est pas épargnée puisque le cycle de vie de diatomées (micro algues phytoplanctoniques ayant un rôle majeur dans la production primaire marine) est apparu perturbé lors d'exposition à des nano billes de polystyrène en laboratoire montrant l'importance de comprendre les effets des plastiques à l'échelle complexe des écosystèmes. Très peu d'études ont initié ce questionnement. Parmi elles, Green a montré qu'un récif naturel façonné par l'huître plate, une espèce ingénieure de l'écosystème qui construit un habitat riche de biodiversité, était modifié une fois exposé à des micro plastiques. Les modifications de la filtration des huîtres entraînaient des effets sur la diversité des communautés de micro-organismes associées, de la microfaune aux cyanobactéries induisant ainsi potentiellement des modifications des cycles biogéochimiques dans les sédiments. Ce type d'étude d'impact, chronique et réaliste, à l'échelle de communautés diverses et interconnectées nécessite d'approcher la diversité de l'écosystème mais aussi la diversité des déchets plastiques (forte variabilité de taille, forme, aspérité, type de polymères et additifs associés) car cela influe très fortement sur leur devenir et comportement en mer et donc sur leur toxicité. C'est une priorité de recherche qui sera un support essentiel à l'aide à la décision mais qui nécessite de rassembler la diversité des communautés scientifiques travaillant sur les déchets plastiques en milieu aquatique en promouvant des approches pluri- et transdisciplinaires.

4.3. Impacts sur la santé

Il est aujourd'hui avéré que les micro plastiques sont présents dans tous les compartiments de notre environnement et qu'ils ont ainsi pénétré notre alimentation. Leur présence a notamment été montrée dans des produits de la mer de consommation courante comme les moules avec des quantités variables selon la localisation géographique comme par exemple en Europe avec 0.05 à 0.37 microparticules/g de chair humide ou en Chine avec 0.9 à 4.6 microparticules/g de chair humide. Des micro plastiques ont été également retrouvés dans d'autres coquillages comme l'huître et la palourde ainsi que dans des crustacés, langoustines, crevettes, crabes et araignées de mer.

Nombreux autres aliments ont révélé la présence de micro plastiques : sucre, miel, eaux et pour la

première fois, des plastiques ont été identifiés dans les selles humaines. De plus, l'exposition de l'Homme aux micro plastiques ne se limite pas à la voie alimentaire. il peut être aussi exposé par inhalation de micro plastiques et fibres aéroportées. Cette voie d'entrée peut même être plus importante que l'alimentation mais elle est très variable en fonction de l'environnement et souvent associée à certains environnements de travail. induisant potentiellement des réactions inflammatoires respiratoires. Concernant l'impact sur la santé des consommateurs de produits contenant des micro plastiques. il y a encore assez peu de connaissances et plusieurs questions se posent actuellement : – sur la composition des micro plastiques. polymères et additifs. En effet. certains monomères présentent à eux seuls un danger comme par exemple ceux constituant le polyuréthane ou le PVC. Il est important de prendre en compte également les additifs qui peuvent représenter une quantité non négligeable de la composition des plastiques parce qu'ils peuvent être libérés par lixiviation. Ils pourraient également provoquer des effets cocktail par association. On retrouve dans l'environnement principalement des phtalates. le bisphénol A. des retardateurs de flamme bromés et des nonyl phénols et on sait que ces substances présentent une toxicité ; – sur le portage de contaminants chimiques et biologiques grâce aux propriétés d'adsorption des micro plastiques. En effet. au gré des déplacements et de la flottabilité des micro plastiques. des polluants organiques persistants peuvent se fixer à leur surface grâce à leurs propriétés hydrophobes. On peut retrouver notamment des PCB (polychlorobiphényles) ou des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques comme anthracène. phénanthrène. pyrène...) . Des études ont montré également la présence de métaux lourds (Hg. Cd. Pb...) et de pesticides à la surface des micro plastiques. Cependant. même si l'accumulation de polluants organiques persistants a pu être mise en évidence chez certains organismes (moule. poisson. arénicole). les micro plastiques ne sont apparemment pas les principaux vecteurs par rapport à d'autres particules en suspension dans les mers et océans mais ils ont un effet sur la bioaccumulation dans les organismes marins qui ne semble pas prépondérante dans l'alimentation humaine . Il reste les contaminants biologiques. les micro plastiques pouvant être colonisés par des bactéries et notamment des bactéries pathogènes pour l'Homme comme celle du genre [14][15].

Sur les possibilités de translocation en fonction de la taille des particules retrouvées. notamment concernant les nano plastiques qui pourraient entrer dans tous les organes. En ce qui concerne le microplastique. il semble qu'il n'y ait pas d'absorption possible dans aucun organe pour des tailles de micro plastiques supérieures à environ 150 μm . Au-delà de la taille. la

translocation pourrait être dépendante notamment de l'hydrophobicité et des charges de la particule.

sur les interactions des plastiques dans le système digestif. En effet, les particules lors du transit pourraient mécaniquement par abrasion engendrer des réactions inflammatoires localisées mais aussi avoir des impacts sur le microbiote et aller jusqu'à créer une symbiose. Au niveau du système digestif, différents mécanismes peuvent intervenir grâce aux plaques de Peyer et aux possibilités de per sorption de l'épithélium intestinal. D'après les connaissances actuelles, on peut souligner que les particules arrivant dans l'organisme peuvent aussi déclencher des réponses immunologiques comme relevées pour le PET ou le PE.

Plus globalement, pour connaître les impacts à long terme des micro plastiques sur la santé humaine, de nombreuses recherches doivent encore être menées, en prenant en compte la diversité de compositions, de tailles, de formes, d'aspérité et en considérant les micro plastiques par l'étude spécifique de congénères incluant leurs caractéristiques morphologiques importantes pour un contaminant particulaire, et non comme une famille homogène de contaminants [16][17].

5. Mécanismes d'action:

5.1. La dégradation:

Détérioration de l'état de surface et des propriétés mécaniques et apparition et propagation de fissures, fragmentation progressive en lambeaux ou granulés jusqu'à des particules de taille micrométrique voire nanométrique... Dans le milieu naturel, au sein des bassins versants terrestres ou en mer, les matières plastiques connaissent une dégradation plus ou moins rapide, qui peut s'opérer sous l'effet de trois grands mécanismes (Figure 2) :

- l'action des rayons ultraviolets (UV), ou photo dégradation ;
- l'action de l'eau, ou hydrolyse ;
- l'action de micro-organismes qui viennent coloniser les déchets (Figure 3).

Parmi ces derniers, certains contribuent comme l'eau et les UV à la fracturation et à la fragmentation du plastique, en « coupant » ses longues chaînes moléculaires ; d'autres sont capables d'assimiler les fragments de molécules : on parle alors de biodégradation.

Ces trois modes d'action s'expriment (ou pas) de manière très différente selon le milieu où séjourne le plastique (sol, eau douce ou eau de mer, voire compost industriel et compost ménager).

et selon les conditions qui y règnent : température. pH. salinité. milieu aérobie ou anaérobie. types de micro-organismes présents

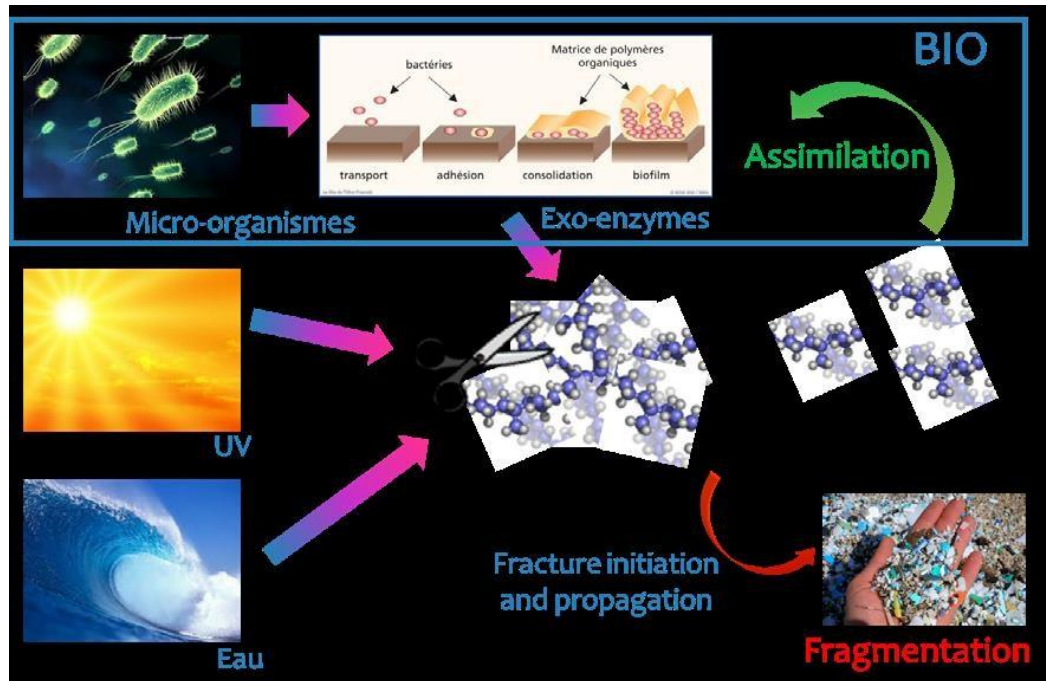


Figure II. 2. Vue générale mécanismes impliqués dans la dégradation des plastiques .

De même, de nombreuses propriétés du plastique lui-même peuvent jouer un rôle-clé dans les mécanismes et les cinétiques de dégradation : la composition chimique bien sûr (polymère, additifs, charges...), mais aussi la forme et l'épaisseur des déchets considérés, leur micro-perméabilité, leur microstructure et leur état de surface (qui influence notamment la colonisation par les micro-organismes). Cette dégradation se traduit par une fragmentation des déchets, libérant in fine dans l'environnement des particules dont les dimensions peuvent s'échelonner de l'échelle millimétrique à l'échelle micrométrique ou nanométrique. À défaut de véritable consensus sur les termes, on qualifie généralement de « micro plastiques » les particules de taille comprise entre 5 mm et 1 μm , et de « nano plastiques » celles inférieures au μm .

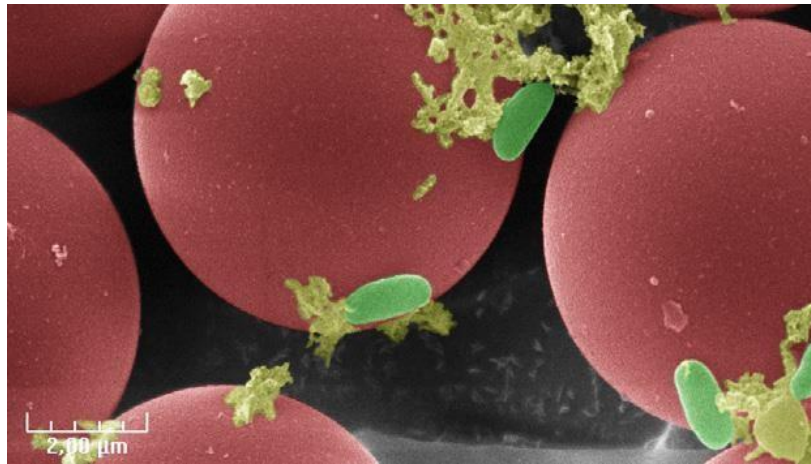


Figure II. 3. Microsphères de polystyrène colonisées par la bactérie

Au regard du grand nombre de matériaux existants sur le marché des plastiques, couplé à la diversité des mécanismes impliqués selon les conditions, l'étude de la dégradation des plastiques constitue donc un très vaste champ de recherche. Les longues durées sur lesquelles s'opèrent les phénomènes sont également un frein à la réalisation de suivis en conditions naturelles.

Ainsi les approches actuelles consistent-elles souvent à étudier, en conditions contrôlées, l'action d'un mécanisme de dégradation donné, sur un type donné de polymère modèle:

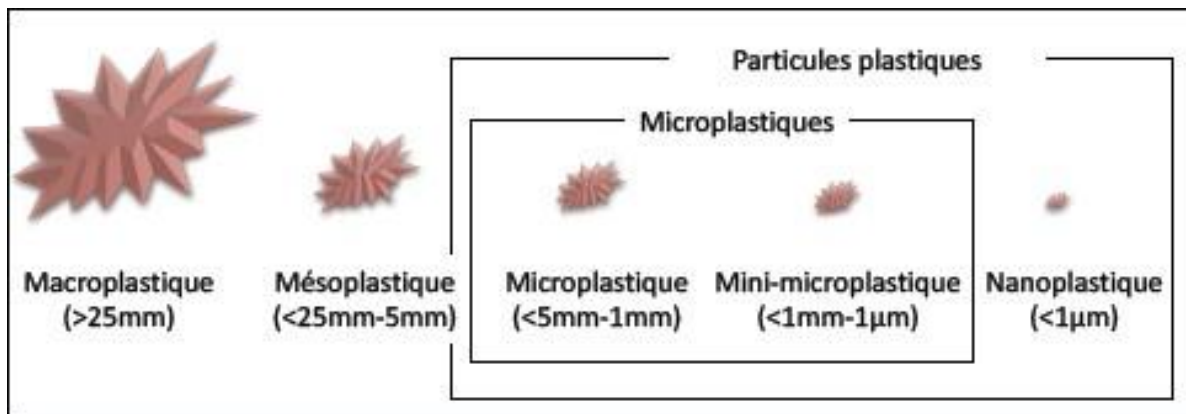


Figure II.4. Déchets plastiques et descente d'échelle. une terminologie possible.

5.2. La combustion:

5.2.1. Mécanismes Les matières plastiques sont des polluants directs et sont aussi à l'origine de polluants secondaires.

5.2.2. pollution engendrée

pollution secondaire

Certains produits de combustion sont toxiques pour l'homme. d'autres peuvent jouer un rôle dans des pollutions de l'atmosphère comme les pluies acides.

- La combustion du polyuréthane produit du cyanure d'hydrogène HCN poison très violent pour les hommes et les animaux.
- La combustion du polychlorure de vinyle PVC produit du chlorure d'hydrogène HCl qui provoque des maladies des voies respiratoires (asthme. bronchites) et est impliqué dans le mécanisme des pluies acides (mis en solution dans l'eau il dégage des ions hydrogène).
- Le fluorure d'hydrogène HF ingéré ou inhalé peut provoquer des hémorragies internes. des troubles cardiaques. de l'*ostéoporose*. Dans le cas d'intoxication aiguë. on observe 50% de décès survenant dans les 24 heures.
- Les oxydes d'azote NOx. également produits de la combustion des matières plastiques. entrent dans de nombreux mécanismes de pollution (pluies acides. ozone) .

5.3. Libération de substances toxiques :

les plastiques peuvent rester dans l'environnement pendant des centaines d'années et se décomposer en micro et nano plastiques qui pourraient être absorbés par les organismes et entrer dans la chaîne alimentaire. Il y a un autre aspect de la pollution plastique qui est presque invisible mais tout aussi important: les composants chimiques toxiques utilisés dans la production de plastique pourraient subsister dans les flux de déchets.

Des produits chimiques sont ajoutés aux produits en plastique pour de nombreuses raisons. Mais les effets nuisibles de ces produits sur la santé humaine peuvent être profonds. Même en petites quantités. ces additifs chimiques plastiques peuvent affecter les fonctions des systèmes immunitaire et reproducteur être à l'origine de cancers, de détériorations du fonctionnement intellectuel et / ou de retards de développement.

Dans certains cas, les produits chimiques ajoutés aux matières plastiques sont si dangereux qu'ils ont été interdits en vertu de lois internationales et nationales. L'utilisation qui continue à en être faite est due à des dérogations et à des failles exploitées par les lobbies de l'industrie. Dans la plupart des cas. Cependant, les additifs chimiques toxiques ne sont réglementés et contrôlés. par souci de protection de la santé humaine et de l'environnement que lorsque des dommages sont

constatés. auquel cas l'industrie chimique et plastique met simplement un nouveau produit chimique non testé sur le marché et le processus réglementaire recommence [18][19][20].

6. Exemples avec statistiques:

6.1. Production mondiale de plastique 1950-2022:

La production mondiale de plastique a atteint le chiffre stupéfiant de 400.3 millions de tonnes en 2022. Cela représente une augmentation d'environ 1.6 % par rapport à l'année précédente. La production de plastique a explosé depuis les années 1950. L'incroyable polyvalence de ce groupe de matériaux explique la croissance continue de la production année après année. Parallèlement à cette croissance, la valeur marchande des plastiques continue également de croître.

Les plastiques et comment ils sont fabriqués : Les plastiques sont utilisés dans une grande variété de produits et ont remplacé d'autres matériaux – tels que le bois, le métal et le verre – qui étaient auparavant utilisés pour les applications aujourd'hui dominées par les plastiques. L'une des principales applications de l'utilisation du plastique est l'emballage plastique. La production de plastique nécessite quatre étapes de base : l'acquisition de la matière première, la synthèse d'un polymère de base, la composition du polymère en une fraction utilisable et enfin le moulage ou le façonnage du plastique.

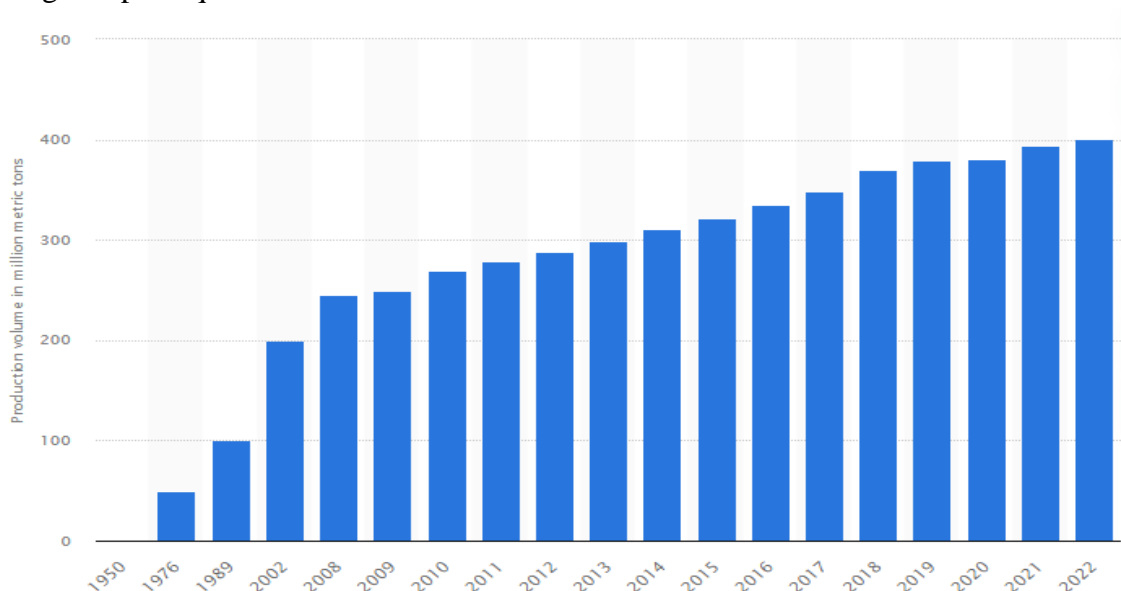


Figure II.5. Production annuelle de plastiques dans le monde de 1950 à 2022 (en millions de tonnes).

6.2. Principaux producteurs de plastique

L'Asie est le plus grand producteur de plastique au monde. La Chine représentait à elle seule 32 % de la production mondiale en 2022. Ces dernières années, la Chine a produit entre six et 12 millions de tonnes de produits en plastique chaque mois. L'Amérique du Nord se classe au deuxième rang mondial en termes de production de plastique, avec une part de 17 % en 2022.

6.3. Les plastiques à usage unique en ALGERIE

6.3.1. Cadre réglementaire :

En Algérie, Les déchets plastiques et les déchets d'emballages sont régis par un ensemble de textes réglementaires :

- La Loi 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Le Décret exécutif du 6 Ramadhan 1423 correspondant au 11 novembre 2002 relatif aux déchets d'emballages.
- Le Décret exécutif du 10 Joumada Ethnie 1425 correspondant au 28 juillet 2004 définissant les modalités de détermination des caractéristiques techniques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés par les enfants.
- Le Décret exécutif du Aouel Joumada Ethania 1425 correspondant au 19 juillet 2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système de reprise et de valorisation des déchets d'emballages.

Concernant la classification des déchets plastiques, voir tableau 2, ci-dessous, ces derniers sont classés selon la désignation dans les différentes classes de déchets (Déchets ménagers et assimilés - Déchets spéciaux - Déchets spéciaux dangereux).

Tableau II.2 : Classification des déchets plastiques

DESIGNATION DU DECHET	CLASSE DU DECHET
Déchets de matières plastiques	MA
Déchets de matières plastiques d'ébarbage et de tournage	MA
Emballages composites	MA
Matériaux composites (textile imprégné, élastomère, plastomère)	S
Déchets provenant de la FFDU de matières plastiques, caoutchouc et fibres synthétiques	SD
Déchets contenant des silicones dangereuses	SD / Nocive
Déchets provenant de la mise en forme et du traitement mécanique et physique de surface des métaux et matières plastiques	S
Emballages contenant des résidus de substances	SD/ dangereuse pour l'environnement
matières plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances	SD/dangereuse pour l'environnement
Câbles contenant des hydrocarbures, du goudron ou d'autres substances dangereuses	SD/ Inflammable toxique cancérogène mutagène
Déchets provenant du traitement mécanique des plastiques et caoutchouc	S

6.3.2. Consommation des plastiques en Algérie:

Selon les chiffres du Centre National de l'Informatique et des Statistiques (CNIS). L'Algérie a importé près de 2.03 milliards de dollars d'intrants pour l'industrie de plastique en 2017. contre 1.9 milliards de dollars en 2016 et 1.7 milliards en 2015.

En termes de consommation de cette matière. une augmentation de 11 % par an a été enregistrée durant ces dix dernières années. passant d'un usage de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017 avec une estimation de 25.8 kg en 2024. 60 % de cette consommation est consacrée aux emballages. 20% au secteur du bâtiment et de la construction et le reste à d'autres industries [21] [[22] [[23].

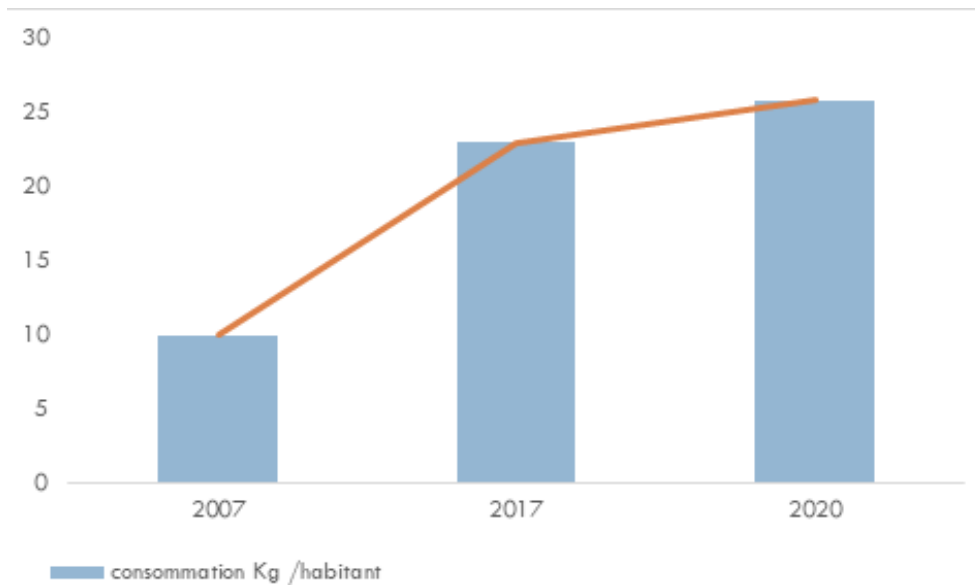


Figure II.6 : Courbe démontrant l'augmentation de la consommation du plastique en Algérie durant les 10 dernière années.

CHAIPTRE 03

Solutions et perspectives

1.Introduction :

La forte hausse du prix du pétrole et la demande des polymères ont contribué à une augmentation du cout des matières plastiques Lequel dans utilisées énormément l'industrie .Dans nos jours les procédés et industriels s'évoluent de plus en plus avec l'amélioration des techniques de la technologie. on essaie de trouver une solution efficace à ce manque en matières plastique. Alors on faisant le recyclage du plastique [24].

2.Recyclage du plastique :

Le recyclage du plastique ; consiste à transformer les déchets de matières plastiques en matière première recyclable ; il commence par la séparation en fonction du type de déchets de matières plastiques. Le recyclage du plastique est plus compliqué : les emballages plastiques sont traités selon deux processus. en fonction des contraintes économiques et environnementales [25].



Figure III-1 : Cycle circulaire du plastique

3. Les différents types de recyclage des matières plastiques :

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

3.1. Le recyclage « chimique » : utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.

Le recyclage chimique englobe toute technologie de retraitement utilisant des agents ou des procédés chimiques qui affectent directement le plastique ou le polymère lui-même. La structure chimique des plastiques est modifiée. On distingue schématiquement trois grandes catégories de technologies :

- la purification à l'aide de solvants : elle vise à séparer de façon sélective les matrices polymères des autres matériaux (notamment dans le cas de mélange de polymères ou formulations) et des substances chimiques (additifs, pigments, substances non intentionnellement ajoutées, etc.). Les déchets plastiques sont plongés dans un bain de solvant qui dissout le polymère ciblé, le séparant des autres composants. Une fois le procédé de purification achevé, le polymère est exposé à une solution non-solvante (procédé de précipitation) pour être solidifié.
- la dépolymérisation : elle consiste à rompre la chaîne moléculaire d'un polymère afin de le faire retourner à l'état de monomère. Une fois que la dépolymérisation a eu lieu, les monomères sont récupérés en vue d'être purifiés par distillation, précipitation ou cristallisation.
- la conversion (ou dépolymérisation thermique) : la pyrolyse et la gazéification transforment les plastiques et la plupart de leurs additifs et contaminants en produits chimiques de base. Ces technologies reposent sur le chauffage des matières plastiques en l'absence totale ou partielle d'oxygène. Dans les deux cas, les molécules issues de ces processus de traitement ne peuvent pas être converties directement en polymères, mais doivent être utilisées comme matières premières dans un processus de raffinage-conversion-polymérisation.

Actuellement, la filière mondiale du recyclage chimique est toujours en phase de test même si le potentiel d'investissement est fort, surtout en Europe [26].

3.1.1. Les ressources recyclables

Le recyclage chimique peut permettre de recycler des déchets plastiques ne pouvant pas être recyclés mécaniquement ou peu durablement.

Les plastiques composés d'un mélange de plusieurs résines, les produits composés de différentes couches de plastiques difficilement séparables ou les plastiques contaminés et souillés peuvent ainsi être recyclés.

3.1.2 Fonctionnement du recyclage chimique

Pré--Traitement

Avant d'être recyclés, les plastiques sont triés puis nettoyés dans plusieurs bains d'eau avant d'être broyés. Lors des bains, la matière organique tombe au fond alors que le plastique reste en surface.

Processus Chimiques

Une fois triés, nettoyés et broyés, plusieurs processus permettent de recycler «chimiquement» les plastiques :

- La dissolution dans des solvants pour récupérer des polymères purifiés.
- La dépolymérisation qui casse les chaînes de polymères pour revenir au monomère.
- Les traitements thermiques de pyrolyse ou de gazéification permettant de revenir à des états proches du pétrole.

3.2. Le recyclage « mécanique » : est la transformation des déchets à l'aide d'une machine. par exemple pour broyer.

99 % des plastiques recyclés font actuellement l'objet d'un recyclage dit « mécanique » : après avoir été collectés et triés pour obtenir des gisements par famille de polymères « homogènes », ces derniers sont broyés, lavés, retriés, extrudés puis transformés en granulés pour être réutilisés sous la forme de matière première recyclée. Sans que soit modifiée la structure du polymère. Le recyclage mécanique est appelé recyclage primaire lorsqu'il traite les déchets post-industriels et recyclage secondaire lorsqu'il recycle les déchets post-consommation.

3.2.1 Les ressources recyclables

Des filières de recyclage mécanique existent pour :

- Les ficelles
- Les big-bangs
- Les sacs d'engrais et d'amendement
- les fûts de produits phytosanitaires et de fertilisants
- Les gaines souples d'irrigation
- Les bidons de produits phytosanitaires et de fertilisants
- les sacs. boîtes. bouchons. opercules. diffuseurs et pièges
- Les films : couverture de serre. paillage. hors-sol. solarisation. petits tunnels

Si les produits ne sont pas trop souillés (eau. terre. matière organique).

3.2.2 Fonctionnement du recyclage mécanique Pré—Traitement

Avant d'être recyclés, les plastiques sont triés, puis nettoyés dans plusieurs bains d'eau avant d'être broyés. Lors des bains, la matière organique tombe au fond alors que le plastique reste en surface.

Production du granulé

Une fois triés, nettoyés et broyés, les plastiques sont fondus. Des granulés ayant les mêmes propriétés physiques et la même composition que les déchets initiaux sont alors obtenus.

Production de nouveaux produits

Les granulés sont ensuite utilisés par les fournisseurs pour produire de nouveaux produits en plastique. Cependant, le recyclage mécanique entraîne une perte de qualité à chaque passage, notamment lorsque les produits sont composés de plusieurs résines différentes et d'additifs. Ce processus ne peut donc pas se faire indéfiniment.

3.3. Le recyclage « organique » : consiste, après compostage ou fermentation à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

Le recyclage organique est une troisième solution pour valoriser nos flux de déchets. Vous connaissez probablement le recyclage organique sous un autre nom : le compost. Le processus de recyclage concerne aussi ce que nous mangeons ! Les bacs de récupération du compost fleurissent dans les grandes villes : séparer les restes organiques lors du tri des déchets deviendra bientôt une habitude pour chacun. L'intérêt de l'organique c'est la qualité des déchets qu'il produit : ceux-ci sont gorgés de résidus essentiels à la vie. En les rendant à la terre, ils pourront être utilisés pour le cycle de vie d'autres plantes ou animaux. Le recyclage organique n'a d'ailleurs pas besoin de l'intervention humaine, il s'agit d'un processus tout à fait naturel [27].

4. Les alternatives au plastique

Alliant un coût d'achat souvent très faible à des propriétés multiples, le plastique issu des hydrocarbures a été pendant des décennies, le matériel d'emballage privilégié des industriels. Mais si le coût d'achat du plastique est faible, son coût environnemental l'est beaucoup moins. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, le coût des emballages en plastique sur l'environnement s'élèverait à 40 milliards de dollars par an. Le secteur des emballages plastiques, s'il devait prendre en charge ces coûts, serait déficitaire. La contamination de l'eau, du sol et de l'air par le plastique des déchets d'emballage préoccupe les consommateurs comme les gouvernements. Récemment les députés français ont adopté des amendements qui interdisent

ou limitent l'usage de produits en plastique.. Pour réduire l'impact sur l'environnement des emballages en plastique, l'amélioration des filières de collecte et de recyclage qui est nécessaire, ne sera pas suffisante : Si seulement 1 % des emballages en plastique échappait aux systèmes de collecte (contre 32 % actuellement). C'est encore un million de tonnes d'emballages plastiques qui seraient déversés dans la nature chaque année. Les industriels doivent à présent rechercher des alternatives aux plastiques issus des hydrocarbures.

4.1. Les plastiques issus de matières renouvelables

Produits à partir de matières premières renouvelables. les plastiques bio sources sont une première alternative aux plastiques issus des ressources fossiles.

Préservant mieux le cycle naturel du carbone, ils émettent moins de gaz à effet de serre. En utilisant des matériaux renouvelables. ils réduisent également la dépendance aux ressources fossiles. Toutefois les plastiques bio sources ne diminueront pas de manière significative le volume de plastique entrant dans l'océan ni les risques que les plastiques font peser sur l'environnement marin. En effet de nombreux plastiques bio sources ne sont pas biodégradables et pour ceux qui le sont. la biodégradation complète se produit dans des conditions qui sont rarement rencontrées dans les milieux marins, comme une température supérieure à 50° par exemple. La production de plastique bio source utilise également souvent les mêmes ressources que la production alimentaire dont la capacité à couvrir les besoins de la population mondiale n'est pas encore démontrée. Pour ne pas concurrencer la production alimentaire. Certains plastiques sont fabriqués à partir de produits non alimentaires ou de déchets. En collaboration avec Kimberly-Clark. Alix fabrique un plastique à partir d'algues qui ne nécessitent pas de terres arables pour être cultivées. Full Cycle Bioplastiques a développé un procédé de production du poly hydroxy alicante (PHA) à partir de déchets organiques. Nature Works transforme le dioxyde de carbone (CO₂) en acide poly lactique (PLA). un plastique utilisé pour les emballages et les couverts de Taco Time. une chaîne de RES- tau ration rapide [28].

4.2. Les matériaux traditionnels

Des industriels se tournent également vers les matériaux traditionnels comme le verre, le papier, l'acier ou l'aluminium. Par exemple. Apple utilise un emballage en carton pour le cordon d'alimentation de son. Alors qu'il y a encore quelques années, le plastique aurait été le matériel d'emballage évident. Selon l'American Chemistry Council, la substitution du plastique par des matériaux traditionnels pourrait se traduire par des coûts environnementaux encore plus élevés. Mais des innovations améliorent la performance des matériaux traditionnels. Par exemple,

Carlsberg devrait commercialiser l'année prochaine une bouteille de bière en carton. Des fabricants de céréales ont remplacé des sachets alimentaires en plastique par d'autres en papier. Ces sachets fabriqués par l'entreprise Shane, sont à la fois recyclables et compostables.

4.3. Les nouveaux matériaux

Pour mettre fin à l'hégémonie du plastique, grands groupes et start-up développent également de nouveaux matériaux avec des caractéristiques proches de celles du plastique mais un impact environnemental plus faible. Sulpice commercialise un matériau fabriqué à partir de bois, résistant à l'eau et qui peut être utilisé dans des procédés d'injection, d'extrusion ou de moulage. A partir de champignons. Conative fabrique un matériel d'emballage compostable qui remplace le polystyrène. Squala développe un matériau à base de l'écaille du poisson. Certains de ces matériaux peuvent avoir un impact très faible sur l'environnement lorsqu'ils atteignent leur fin de vie. Par exemple Lacis produit, à partir de protéines de lait, des granulés thermoplastiques utilisés pour produire des films plastiques hydrosolubles.

Les alternatives aux plastiques issus des hydrocarbures existent. D'autres restent à découvrir. Elles seront, pendant un temps probablement plus coûteuses mais elles méritent d'être étudiées. Chaque minute, un camion poubelle de plastique est déversé dans les océans [29].

4.4. plastiques dans l'industrie médicale

L'innovation dans le domaine médical a fait beaucoup de bien pour l'environnement, mais avec ce bien s'accompagne de nouveaux défis sans précédent. La numérisation des dossiers médicaux a créé un besoin de destruction appropriée des données par différentes méthodes, créant une relation entre l'industrie médicale et le secteur des services ITAD. Dans le même ordre d'idées, les progrès technologiques ont nécessité un recours accru aux plastiques, certains réutilisables, d'autres à usage unique. Les équipements hospitaliers réutilisables tels que les écrans sont partiellement ou entièrement constitués de plastique. Les plastiques à usage unique rencontrés dans les hôpitaux comprennent des articles tels que les seringues, les housses jetables des thermomètres ou des otoscopes et des équipements de protection individuelle (EPI) tels que les masques chirurgicaux.

Les plastiques ont ainsi contribué à réduire les coûts et à améliorer les conditions sanitaires dans de nombreux domaines. Cependant, l'activisme environnemental actuel concentrant ses efforts sur la réduction des déchets plastiques. Il reste des questions importantes à aborder. Comment réduire les déchets plastiques tout en maintenant les conditions sanitaires que les plastiques à usage unique peuvent offrir ? Le remplacement du matériel en plastique à usage

unique dans le domaine médical par des alternatives réutilisables nuira-t-il davantage à l'environnement ?

Il y a peu de réponses claires. et la pandémie actuelle de COVID-19 a mis en évidence la complexité du problème. Par exemple. les masques chirurgicaux qui aident à réduire le risque de contamination. peuvent être fabriqués à partir de coton réutilisable et lavés mais le matériau utilisé pour les masques jetables est plus efficace pour réduire les risques..

Alors quelle est la solution ? Bien que ces efforts aient un peu laissé la place à une crise sanitaire plus pressante. nous voyons des efforts accrus pour la création d'EPI biodégradables offrant la même efficacité de protection que les équipements à usage unique actuels. Les autres équipements médicaux réutilisables tels que les écrans sont également recyclables. Et bien que les soignants aient toujours besoin d'utiliser des EPI jetables, les articles réutilisables tels que les masques en tissu fonctionnent très bien pour le grand public.

4.5. plastiques dans la construction

Depuis leur création en 1870. les matières plastiques ne cessent d'évoluer et d'offrir des solutions plus performantes. Assurant une plus grande durabilité. exigeant moins d'entretien et offrant un côté esthétique surprenant. les matières plastiques ont la cote. C'est ainsi que dans le domaine de la construction. la grande tendance est au remplacement du bois. du métal et du verre pour des matières plastiques.

Pensez-y quelques secondes : les matériaux de plastiques sont légers (transport et portance) et malléables. Ils sont parfaitement étanches. Résistent à la corrosion et à l'usure. Ne pourrissent pas. Et ne sont pas conducteur d'électricité. Ni le bois ni le métal n'offrent à la fois tous ces avantages. Les économies et les gains à plusieurs échelons sont nombreux pour l'entrepreneur.

Le remplacement du bois comme structure de coffrage à béton ou comme réservoir illustre à la perfection les avantages des matières plastiques. Réutilisable et résistant. le plastique offre des économies non négligeables à l'entrepreneur.

Il existe de nombreuses alternatives au plastique qui sont durables, respectueuses de l'environnement et qui peuvent nous aider à réduire notre consommation de plastique. Du verre au métal en passant par le papier. les bioplastiques et les fibres naturelles. Il existe de nombreuses

options à choisir en fonction de vos besoins et de vos préférences. En choisissant des alternatives au plastique, nous pouvons tous contribuer à réduire notre impact sur l'environnement et à créer un avenir plus durable .

5. Les solutions au niveau mondial pour lutter contre la pollution plastique

En 2018, la Journée mondiale de l'environnement organisée en Inde s'était majoritairement axée autour de la lutte contre la pollution plastique. La Banque mondiale y avait notamment investi massivement dans l'amélioration des systèmes de gestion des déchets urbains.

Et puisque les contraintes réglementaires se durcissent, ce sont aussi les grandes entreprises qui s'engagent. Nestlé, Coca-Cola ou Pepsi Co, considérés comme quelques-uns des plus gros pollueurs plastique de la planète, visent aujourd'hui à augmenter jusqu'à 35% la part de matière recyclée selon les emballages d'ici à 2025. Partout à travers le monde, on préfère s'attaquer aux plastiques non recyclables plutôt que de chercher à bannir sans discernement toutes les déclinaisons de ce matériau aujourd'hui omniprésent [30].

5.1 La protection de la nature au cœur des ODD

En 2015, les Nations Unies adoptaient 17 objectifs de développement durable (ODD) répartis en un calendrier mondial que chaque État signataire s'est engagé à respecter. Au cœur de l'initiative, la garantie de la sécurité alimentaire et hydrique de tous les peuples du monde, l'amélioration de l'équilibre des écosystèmes et la réduction des inégalités perpétuées par la pollution plastique d'ici à 2030.

Depuis, le Bangladesh a été le premier pays au monde à interdire les sacs plastiques et une soixantaine d'autres ont adopté des mesures visant à freiner la pollution.

La maîtrise des déchets plastiques est un défi de taille qui implique de repenser en profondeur l'ensemble des processus de transformation, de la conception des produits à leur recyclage en passant par l'utilisation qui en est faite par le consommateur. Il s'agirait déjà d'améliorer la cartographie et la recherche liée aux effets négatifs du plastique afin de proposer des programmes d'aide internationale là où ils sont les plus nécessaires. Dans les pays en développement notamment, .

On parle aussi de moderniser et de développer les centres de tri et les technologies de recyclage, ainsi que de proposer un crédit d'impôt afin de faire du plastique recyclable une solution plus économique. À l'image du budget carbone évoqué dès le début des années 2010, d'autres

évoquent enfin la nécessité d'un budget plastique visant à limiter la quantité émise sur les marchés mondiaux.

Des propositions étudiées actuellement par les différents gouvernements du monde et évoquées en partie dans le rapport du WWF cherchant à mettre un terme à la pollution plastique dans la nature à l'horizon 2030. Le réemploi, l'élimination des additifs toxiques et la fabrication d'alternatives durables en fibres de cellulose notamment constituent également de vastes piliers de réflexion.

5.2 Des initiatives locales

Quant à l'échelle locale, les initiatives se multiplient. En Colombie, une entreprise a choisi de transformer les déchets en briques de plastique à partir desquelles sont construites des maisons pour les populations les plus pauvres tandis qu'au Chili, les filets de pêche abandonnés dans les ports sont récupérés, transformés en granulés de plastique puis moulés en skateboards dont la forme rappelle celle d'un poisson. Du côté du Kenya, la société Océan Sole se charge depuis quelques années de ramasser les centaines de tongs en plastique jonchant les plages pour les transformer en œuvres d'art. 70% d'entre elles sont aujourd'hui exportées partout à travers le monde.

5.3 Des alternatives au plastique traditionnel

Bioplastique obtenu à partir d'algues ou de graines de lin, plastique compostable ou biodégradable... De nombreuses startups ont choisi de mettre leur créativité au service de matériaux plastiques plus respectueux de l'environnement. Des entreprises déjà freinées par certaines limites, la plupart de ces alternatives ne pouvant être traitées dans les installations classiques de recyclage et de gestion des déchets [31].

5.4 Vers un plan global pour limiter la pollution plastique

En France, dans le cadre de la transition écologique et solidaire, le gouvernement s'est engagé en 2018 à tendre vers le 100% plastique recyclé. Les pailles, les couverts jetables, les boîtes en polystyrène ou les tiges à ballon gonflable commencent à disparaître progressivement de nos supermarchés tandis que le vrac progresse sur le territoire. À terme, un bonus-malus devrait être imposé aux industriels pour tout suremballage en plastique tandis que 2022 verra la disparition des sachets de thé et des jouets en plastique distribués avec les menus enfants dans les chaînes de restauration rapide soit une diminution globale de la production de déchets de 57% d'ici à 2030.

La loi anti-gaspillage pour une économie circulaire proposée par le gouvernement a fixé 2040 comme objectif pour en finir définitivement avec la mise sur le marché d'emballages en plastique à usage unique. Parmi ses mesures phares :

- Une stratégie nationale 3R. pour la Réduction. le Réemploi et le Recyclage des emballages plastiques. Avec des objectifs actualisés à chaque quinquennat. en collaboration avec le ministère de la transition écologique.
- L'interdiction de distribuer gratuitement des bouteilles en plastique dans les établissements recevant du public.
- La disparition des jouets en plastique proposés dans les menus enfants.
- L'interdiction du suremballage plastique des fruits et légumes frais de moins de 1.5 kilogrammes.
- Le développement du commerce en vrac.
- Une meilleure sensibilisation du consommateur.

5.5.Des idées pour nettoyer les océans

Sur les océans. les expéditions s'enchaînent pour récolter les déchets plastiques visibles en mer à l'image de Plastic Odyssée qui s'est fixé pour objectif de nettoyer les océans de la planète à bord d'un navire capable de transformer les déchets en carburant. Avec ses structures flottantes et sa technologie de pointe. L'Océan Clean up espère de son côté nettoyer 50% du plastique flottant dans le vortex de déchets du Pacifique nord d'ici à 5 ans.

Des projets qui ne permettent pas encore d'éradiquer sur le long terme le problème de la pollution plastique mais qui aident déjà à sensibiliser l'opinion mondiale.

6.Les solutions au niveau individuel pour lutter contre la pollution plastique

Alors que des études ont révélé que les mesures actuelles ne permettraient de réduire la pollution marine que de 7%. et tandis que le Programme des Nations Unies pour l'environnement cherche à mettre en place un accord mondial sur le plastique chaque geste individuel compte [32].

6.1.Faire évoluer les comportements d'achat

Puisque la solution passe avant tout par la réduction de la production de déchets à la source.

plus question d'acheter des couverts jetables en plastique ou des fruits et légumes présentés sous film étirable par exemple. En cas de choix. On privilégiera le carton, beaucoup moins dommageable pour l'environnement malgré un système de recyclage global encore imparfait. Et puis, pourquoi opter pour de l'eau en bouteille lorsque la France dispose d'une excellente eau potable ? Une gourde en inox vous permettra de ne pas contribuer aux 20 milliards de bouteilles en plastique jetées chaque année.

Au moment du passage en caisse. on dit non aux sacs en plastique en apportant systématiquement un ou plusieurs sacs réutilisables en coton ou en toile de jute. À compléter de quelques filets et bocaux en verre pour vos achats en vrac. et de l'achat en gros des produits que vous utilisez en grande quantité. Et pour aller plus loin. on s'équipera d'objets alternatifs durables tels que les pailles en acier ou en bambou de manière à refuser le plastique même autour d'un verre entre amis.

Côté hygiène. on apprendra à se passer des produits et cosmétiques contenant des microbilles de plastique. Place plutôt aux traditionnels savons solides qui reviennent à la mode et qui restent bien plus économiques tout en produisant moins de déchets.

6.2. Recycler au maximum

A mesure que la technologie s'améliore. le recyclage s'étend de plus en plus aux sacs et aux emballages en plastique. N'oubliez pas de procéder à un tri sélectif soigneux et contacter les autorités locales ou le centre de recyclage le plus proche afin de savoir ce qui est accepté. et ce qui ne l'est pas !

6.3. Acheter d'occasion

On pense aussi à l'économie de seconde main. moins chère et parfaite pour limiter le gaspillage en donnant une seconde vie à des articles d'occasion. De nombreuses plateformes spécialisées existent aujourd'hui.

6.4. Participer à (ou organiser) un nettoyage

En bord de mer ou de rivière, rejoignez les collectes organisées par les organisations locales ou profitez d'un week-end pour nettoyer une plage avec vos amis. Un moyen rapide d'empêcher la dispersion des déchets plastiques dans l'environnement !

6.5. Faire passer le mot

Partagez autour de vous des informations, des documentaires, des événements pour sensibiliser au problème.

7. Une prise de conscience réelle

7.1. Une prise de conscience générale

Le droit international s'est saisi du sujet en adoptant plusieurs conventions pour interdire l'immersion de plastiques dans la mer (convention de Londres. convention Marpol). assurer l'élimination progressive des polluants organiques persistants (convention de Stockholm) et renforcer le contrôle sur les exportations de plastiques contaminés ou en mélange (convention de Bâle) .

Afin de dépasser le dilemme d'un matériau devenu indispensable dans de nombreux secteurs de l'économie mais ayant des impacts délétères sur l'environnement. L'Union européenne a mis en place en 2015 un plan d'action en faveur de l'économie circulaire puis. en 2018. Une stratégie sur les matières plastiques. Ces textes européens favorisent la réutilisation le recyclage, la réparation. et la promotion de matériaux plus durables et non toxiques afin de diminuer la quantité de déchets générés.

La directive du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence sur l'environnement de certains produits plastiques a accéléré la dynamique en ciblant les plastiques à usages uniques. À partir du 3 juillet 2021. il sera interdit de mettre sur le marché des cotons-tiges, des couverts, des assiettes, des pailles, des bâtonnets mélangeurs, des tiges de ballons de baudruche, des récipients pour aliments et des récipients pour boissons en polystyrène expansé [33].

Depuis dix ans. La France a également pris une série de mesures législatives¹ visant à favoriser la valorisation des déchets plastiques, réduire l'utilisation de plastiques à usage unique et des micro plastiques intentionnellement ajoutés, responsabiliser les producteurs, mieux informer les consommateurs et promouvoir le réemploi.

Les collectivités territoriales sont également fortement mobilisées dans la prévention des déchets et le développement de l'économie circulaire.

La société civile n'est pas absente, notamment à travers les associations environnementales. Elle joue un rôle fondamental de lanceur d'alerte sur les risques que fait peser la consommation débridée de plastiques pour l'environnement et la santé humaine.

Soumises à une pression croissante. à la fois des pouvoirs publics et de l'opinion publique.

un nombre croissant d'entreprises s'implique dans la réduction de la pollution plastique en fixant à leurs emballages des objectifs de recyclable de réutilisation ou de comptabilité. Toutefois, leur implication varie en fonction de leur taille et des secteurs d'activité [34].

Enfin, la communauté scientifique française et internationale s'est emparée du sujet de la pollution plastique. Le nombre des travaux est en forte croissance depuis dix ans et les domaines de recherche concernent autant les phénomènes liés aux pollutions plastiques, que leurs conséquences ou la recherche de solutions [35].

7.2. Des mesures à l'efficacité qu'interroge

***Une politique longterms focalisée sur l'amélioration du recyclage**

Dans le cadre de l'économie circulaire, le recyclage permet de valoriser les déchets et de les réinjecter dans le processus de production initial. Or, les taux de recyclage des plastiques sont particulièrement médiocres : en France, ils s'élevaient en 2018 à 24.2 % pour l'ensemble des déchets plastiques et, en 2019, à 29 % pour les seuls emballages plastiques. De fortes déperditions sont observées entre les quantités de déchets produites et collectées. C'est la raison pour laquelle une série de mesures a été prise dans le cadre de plusieurs lois, pour améliorer le taux de collecte, assurer une plus grande recyclabilité des plastiques ou encore développer les débouchés des plastiques recyclés. L'objectif recherché est une « massification » et une plus grande efficacité du recyclage.

Néanmoins, le recyclage des plastiques se heurte à plusieurs limites.

- une limite économique liée à l'absence de rentabilité sous l'effet de l'effondrement des prix des résines vierges provoqué par la chute des prix du pétrole ;
- de nombreuses limites techniques : en raison de la dégradation des polymères lors du processus de recyclage mécanique, le procédé n'est pas infini. En outre, de nombreux plastiques ne sont pas recyclables actuellement, du fait de leur caractéristique (thermodurcissables, multicouches, composites) ;
- des limites réglementaires qui empêchent le recyclage de produits plastiques mis sur le marché il y a parfois plusieurs décennies et fabriqués avec des substances désormais interdites (notion de substances héritées) [36].

***Des politiques de réduction trop timides**

La politique de réduction de certains usages des plastiques a commencé en 2016 avec l'interdiction des sacs de caisse. Elle s'est considérablement renforcée à partir de 2020 et devrait aboutir, d'ici 2025, à réduire significativement le nombre d'emballages à usage unique [37].

Les interdictions de plastiques à usage unique votées dans la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

Au 1er janvier 2021 : interdiction de la distribution gratuite de bouteilles en plastique contenant des boissons dans les établissements recevant du public et dans les locaux à usage professionnel ; interdiction des clauses contractuelles imposant la fourniture ou l'utilisation de bouteilles en plastique à usage unique dans le cadre d'événements festifs, culturels ou sportifs.

Au 1er janvier 2022 : interdiction du conditionnement dans des emballages en plastique des fruits et légumes frais non transformés exposés dans les commerces de détail ; interdiction de la mise sur le marché de sachets de thé et de tisane en plastique non biodégradable ; interdiction de l'apposition d'étiquettes en plastique sur les fruits et légumes ; interdiction d'expédier les publications de presse dans des emballages plastiques ; interdiction de la mise à disposition gratuite de jouets en plastique dans le cadre de menus destinés aux enfants [38].

Au 1er janvier 2025 : interdiction de l'utilisation de contenants alimentaires de cuisson, de réchauffe et de service en matière plastique dans les services de restauration collective des établissements scolaires et universitaires, les établissements d'accueil des enfants de moins de six ans, les services de pédiatrie, d'obstétrique et de maternité.

Enfin, l'article 7 pose comme objectif la fin de la mise sur le marché d'emballages en plastique à usage unique d'ici 2040.

Toutefois, ces mesures sont trop récentes (la plupart ne sont pas encore entrées en vigueur) pour produire des effets et permettre le contrôle de leur efficacité [39].

Par ailleurs, ces interdictions entraînent des substitutions par d'autres matériaux qui peuvent s'avérer contre-productives, voire dangereuses pour l'environnement et la santé humaine. C'est le cas de la vaisselle en plastiques biosourcés ou en bambou, développée par les industriels pour répondre à l'interdiction des couverts, assiettes et gobelets en plastique à usage unique.

Quant au réemploi des emballages, il fait l'objet d'un foisonnement d'initiatives au niveau local mais il n'existe encore aucun cadre national pour imposer des standards, accélérer le développement d'infrastructures (usines de lavage des bouteilles et des récipients) et fixer une

trajectoire aux acteurs privés avec des objectifs chiffrés.

Enfin, la réduction de la pollution chimique par les micro plastiques ne fait actuellement l'objet d'aucune stratégie spécifique [40].

Conclusion générale

Conclusion générale :

Il est évident que l'industrie pétrochimique est un secteur industriel clé. Il assure le besoin des autres domaines en différentes matières premières et en produits finis. Cependant, l'utilisation des matières fossiles (pétrole et gaz) comme sources, provoque des problèmes environnementaux onéreux. C'est dans ce contexte que vient s'ajouté notre modeste travail, dont a l'issu en peut conclure les points suivants :

- L'industrie pétrochimique est une industrie très importante. Elle fait appel à des procédés de fabrication variantes et diversifiés ;
- Les sources principales des matières premières pour la pétrochimie sont les procédés du raffinage du pétrole et gaz ;
- Les matières plastiques (polymères) constituent la grande part de l'industrie pétrochimique ;
- Les matières plastiques, après usage, ont un impact néfaste sur l'environnement ;
- Malgré la conscience mondial vis avis ce problème et les différentes lois et législatifs, la pollution liées aux matières plastique reste un phénomène de casse-tête pour les états et même pour les scientifiques ;
- Le recyclage des matières plastiques, avec tous ses types, figure parmi les solutions les plus adaptés.

Références bibliographiques

- [1] M. HARCHE, Cours Introduction au Raffinage et à la Pétrochimie, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene 2017.
- [2] J.VERNIER, Les énergies renouvelables, Introduction, 2009. <https://www.cairn.info/les-energies-renou-velables--> consulté le 21-04-2024
- [3] K.JEMES. Connaissance des énergies. énergies fossiles. fiche pédagogiques. formation du pétrole <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/formation-du-petrole>. consulté le 19-03-2024.
- [4] Culture sciences-chimie, chimie organique, les combustibles fossiles ,formation, composition et réserves. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/synthese-et-retrosynthese/les-combustibles-fossiles-formation>. Consulter le 19-03-2024.
- [5] A. BAUDOT, énergies nouvelles, pétrochimie, <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/innovation-et-industrie/nos-expertises/hydrocarbures-> Consulter le 19-03-2024.
- [6] J. PIERRE DAL PONT, procédés industriels de base en chimie et pétrochimie, 2016.
- [7] Planète énergies, La pétrochimie, une industrie incontournable, <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/petrochimie-industrie-incontournable>, Consulter le 20-03-2024.
- [8] Thermo fin, industrie pétrochimique et application industrielles, <https://thermofin.net/fr/industries-que-nous-servons/industrie-petrochimique-et-applications-industrielles/>, Consulter le 20-03-2024.
- [9] J, P, FAVENNEC, Petroleum Refining Volume 5, Refinery Operation and Management, 2001, France.
- [10] H.JAMES, G.HANDWERK, J.MARK KAISER, and D. GEDDES, Petroleum Refining: Technology and Economics, 2007, Finland.
- [11] S.RICHARD KRAUS, encyclopédie de sécurité et de santé au travail, <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo078.htm>, Consulter le 20-03-2024.
- [12] A. HAMZAOUI, cours de Procédés de Raffinage, Université des sciences et de la technologie M-BOUDIAF- ORAN,2022.
- [13] Nouvelle aquitaine, Des ressources pour agir en Éducation et promotion de la Santé- Environnement, Combattre la Pollution Plastique, Journée mondiale de l'environnement, guide pratique,2023.
- [14] M. Hill. N.Y .Modern Plastics and C. A. Harper. Modern Plastics Handbook, 2000.
- [15] M.TEBANI ., Cours de Pollution de l'environnement, Université Hassiba Ben Bouaali – Chlef.
- [16] Nature France, Le service public d'information sur la biodiversité, Pollutions, Comment évoluent les différentes pollutions,2024, <https://naturefrance.fr/pollutions>, Consulter le 05-04-2024.
- [17] Environnemental information system, Quels sont les principaux polluants responsables de la pollution, <https://www.eea.europa.eu/fr/help/questions-frequeemment-posees/quels-sont-les-principaux>, consulter le 21-03-2024
- [18] M.ravalson, énergie fossile ; définition , utilisation , impact et épuisement 2024 , <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/energies-fossiles> Consulter le 21-03-2024.
- [19] P. Energie La pétrochimie : une industrie incontournable. 2014. <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/petrochimie-industrie-incontournable> Consulter le 21-03-2024.
- [20] H.Djerif ,introduction a la pétrochimie , <https://www.scribd.com/document/491750128/introduction-et-definition> Consulter le 21-03-2024.
- [21] UNEP, Comprendre la pollution plastique et son impact sur les vies Afrique Renouveau,2013.

- [22] Linde ,traitement et raffinage pétrochimie, <https://www.linde-gas.fr/shop/fr/fr-ig/traitement-et-raffinage-petrochimique> Consulter le 25-03-2024 .
- [23] Behring water, l'avenir autrement, pollution plastique : causes, conséquence et solutions, 2023.
- [24] A. ELFASSI, rapport alerte sur les effets nocifs du plastique sur la santé tout au long de son cycle de vie, 2019. +sites
- [25] D.R. Paul and S. Newman, Polymer Blends Academic Press, New York, (1978)..
- [26] F. Zouaoui, « Etude du mélange polyacide lactique/ éthylène vinyle acétate PLA/EVA », Université de Sétif, (2015).
- [27] URBYN, Les plastiques : des matériaux utiles mais dangereux, 2023. <https://www.urbyn.co/articles/les-plastiques-utiles-mais-dangereux/> Consulter le 12-04-2024.
- [28] Impact environnemental : de quoi parle-t-on ? Publié le 18 avril 2023 - <https://www.avise.org/comprendre-ess/impact-environnemental-definition> Consulter le 12-04-2024.
- [29] A. Maciel, V. Salas, O. Manero, PP/EVA Blends: Mechanical properties and morphology. Effect of Compatibilizers on the Impact Behavior, Mexico, (2004).
- [30] <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/economie/les-dechets-ressources/article/les-dechets-plastiques> Consulter le 12-04-2024.
- [31] WASTETRADE, Plastiques, Gestion des déchets plastiques, Conséquences Des Déchets Plastiques. <https://www.wastetrade.com/fr/resources/plastic-waste-management/consequences-of-plastic-waste/> Consulter le 13-04-2024.
- [32] M. Kaci, A. Hamma, I. Pillin, Y. Grohens, Effect of Reprocessing Cycles on the Morphology and Properties of Poly(propylene)/Wood Flour Composites Compatibilized with EBAGMA Terpolymer, Macromolecular Materials and Engineering, 294 (2009), p. 532–540.
- [33] Pollution plastique - fiche d'information, Évaluation scientifique de la pollution plastique, 2020. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/fiches-renseignements/en-bref/pollution-plastique.html> Consulter le 13-04-2024.
- [34] D.LITNER, Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition SC of the Tot. Environ.,2011. <https://www.ilocis.org/fr/documents/ilo078.htm> , Consulter le 12-04-2024.
- [35] A.TURNER. Heavy metals, metalloids and other hazardous elements in marine plastic litter Mar Pollut Bull, 2016.
- [36] M. Riadh. L. Ikram, Etude d'une ligne de recyclage du plastique (Bac horizontal et extrudeuse), Memoire de master, universite Saad danieb de Bouda, 2017.
- [37] W.TRADE. Gestion des déchets plastiques ,21 ,(2024) , p .15.
- [38] P. Chaudron, Synthèse de monomères méthacryliques phosphores application à l'ignifugation, université de Metz, (1999).
- [39] Ajii et Utraki, Introduction to polymère blende, chapitre 2, polymer blendshandbook. Vol. 1, (2002), p. 12.
- [40] M. Coleman, J.F. Graf and P.C. Painter. Macromolécules, 24, (1991), p. 5630-5638.

Résumé :

Le présent travail a comme objectif de déterminer l'impact environnemental de l'industrie pétrochimique, essentiellement la pollution due aux matières plastiques. Ces matières qui sont produites par des millions de tonnes chaque jours, constituent un majeur problème pour la planète, pollution de l'air, des sols et marine. De ce fait, notre travail consiste en la préparation d'un manuscrit qui traite l'effet des matières plastiques sur l'environnement. Le travail est une recherche bibliographique qui vise d'un part la démonstration de l'importance de l'industrie pétrochimique et de l'autre part, l'effet de cette industrie sur l'environnement.

Mots clés: industrie pétrochimique, matières fossiles,, recyclage, matières plastiques, environnement.

ملخص:

يعمل الحاضر كهدف لتحديد التأثير البيئي لصناعة البتروكيماويات، وخاصة التلوث الناجم عن المواد البلاستيكية. هذه المواد التي يتم إنتاجها بملايين الأطنان كل يوم، تشكل مشكلة كبيرة على الكوكب، تلوث الهواء والتراب والبحر. في الواقع، يتكون عملنا من تحضير مخطوطة لها تأثير المواد البلاستيكية على البيئة. العمل هو بحث ببيولوجرافي يمثل جزءاً من عرض أهمية صناعة البتروكيماويات والجزء الآخر من تأثير هذه الصناعة على البيئة..

الكلمات المفتاحية :

الصناعات البتروكيماوية , المواد الاحفورية , الرسكلة , المواد البلاستيكية , البيئة .