

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université ABBES Laghrour-Khenchela

Faculté des sciences et de technologie

Département de Génie industrielle



جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة الصناعية

Mémoire de Master

No. Réf. :/...../2020

Domaine : Science et Technique
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés et environnement

Réalisé par :

Takouachet Rayane
Khaldi Samiya

Thème

Production de l'éthanol à partir des déchets organiques.

Soutenu le//2020 devant la commission d'examen composée de :

Pr.

BEICHA.A

Président

Dr :

TOUATI Amina

Directeur du Mémoire

Pr.

BENOUNIS .M

Examinateur

Dédicaces

Je dédie cet humble travail avec grand amour, sincérité et fierté:

A mes chers parents, sources de tendresse, de noblesse et d'affection.

*A mes soeurs en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits
de bonheur de santé et de succès.*

A l'âme de mon cher mari Karim, qui m'a toujours donné du courage,

Et à tous les membres de ma famille.

A tous mes copines, tous mes professeurs et

a tous qui compulsent ce modeste travail

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah de m'avoir donné la santé et le courage pour terminer ce travail.

Ce mémoire est le résultat de recherche effectuée au Laboratoire des capteurs instrumentations et procédés (LCIP) du département de génie industriel, de l'Université de Abbes Laghrour Khenchela. Plusieurs personnes ont participé à ce thème de recherche et méritent d'être remerciés.

*En premier lieu, je tiens à exprimer ma gratitude en vers **Mlle TOUATI A**, qui en agissant à titre de directeur de mémoire d'avoir fortement enrichi ma formation ; vos conseils, vos suggestions et commentaires qui m'ont été très utiles.*

*Je tiens remercier **Pr Benounis M**, le directeur de laboratoire des capteurs instrumentations et procédés.*

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

Pr Beicha .A

Pr Benounis M

Merci à tout les enseignant de département de génie de procédés

CHAPITRE 01 :L'impact des déchets sur l'environnement et la santé

1.1	Définition d'un déchet	12
1.2	La Classification des Déchets	12
1.2.1	Classification selon le producteur du déchet	12
1.2.1.1	Les déchets ménagers	13
1.2.1.2	Déchets d'activités économiques (DAE)	14
1.2.2	Classification selon les propriétés du déchet	17
1.2.2.2	Déchets non dangereux(DND)	17
	1) Déchets non dangereux inertes :	20
	2) Déchets non inertes et non dangereux	20
	Origine et la nature des déchets non dangereux non inerte	20
	1)Déchets recyclables	20
	2)Déchets organiques	21
	3) Déchets en mélange	21
	4) Déchets présentant un intérêt comme combustible	21
1.2.3	Classification Selon le Secteur de Production	23
1.3.	L'impact des déchets sur l'environnement et la santé humaine	23
	1.3.1 L'impact des Déchets Sur L'environnement	23
	• Pollution atmosphérique	23
	• Pollution de l'eau	25
	• Pollution de sol	27
1.3.2	. L'impact des Déchets Sur la santé humaine	28
1.1.1.1.4.	Généralité sur la gestion des déchets en Algérie	30
1.5.	Production de bioéthanol	34
<u>1.5.1</u>	<u>Introduction</u>	<u>34</u>

1.5.2	Différentes bioénergies :	34
1.5.2.1	Le biogaz	35
1.5.2.2	. Le biocarburant	35
	a- Le biodiesel	35
	b- Le bioéthanol :	36
1.5.3	. Energie de biomasse et voies de production	37
1.5.3.1.	Définition de la biomasse	37
1.5.3.2	. Ressources de biomasse	38
1.5.3.3	. Avantages et inconvénients de la biomasse	38
	1.5.3.4. Voies de production de bioénergies	39
1.5.3.4.1	.Voie thermochimique	40
1.5.3.4.1.1	.La combustion	40
1.5.3. 4.1.1.1	.Définition	40
1.5.3.4.1.1.2	. L'équation de combustion	41
1.5.3. 4 .1.1.3	Les étapes de combustion	41
	- Le séchage	41
	-Pyrolyse	41
	- La combustion des gaz	41
	- Combustion du résidu carboné.	41
1.5.3 4.1.2	. La liquéfaction	41
1.5.3 4.1.3	. La pyrolyse	42
1.5.3.4.1.3.1	. Définition	42
1.5.3. 4.1.4.	La gazéification	42
1.5.3. 4.1.4.1	.Définition:	42

1.5.3. 4.1.4.2	.Les étapes de gazéification	43
1.5.3. 4.2	Voie biochimique	44
1.5.4.	Fermentation Alcoolique Et La Production De Bioéthanol	44
1.5.4.1	Fermentation Alcoolique	44
1.5.4.2	Production Du Bioethanol	47
1.5.4.2.1	Le prétraitement	48
1.5.4.2.2	L'hydrolyse	49
	- L'hydrolyse chimique	49
	- L'hydrolyse enzymatique	49
1.5.4.2.3	. La fermentation	49
1.5.4.2. 4	La distillation	50
1.5.5	Avantages et inconvénients du bioéthanol	50
CHAPITRE 02 : Matériels et Méthodes d'Analyse et de Préparation		
2.1	Introduction	55
2.2	Méthodes et matériels	55
2.2.1	Appareillage	55
2.2.2	Matériel végétal	55
2.2.3	Paramètres de fermentation	56
	Choix de la température	56
	Choix du pH	56
	Milieu de fermentation	57
2.2.4	.Caractérisation du bioéthanol obtenu par fermentation.	57
	Distillation du mélange-Récupération du bioéthanol	57
	Dosage de l'acidité	58

	Spectrophotométrie UV-Visible	58
	Teste d'inflababilité	58
CHAPITRE 03 : Production Du Bioéthanol A Partir Des Déchets De La Pomme		
3.1	Propriétés Physico -Chimiques du bioéthanol	60
3.1.1	Potentiel d'hydrogène pH	60
3.1.2	Acidité titrable	61
3.2	Rendement de production de l'éthanol	61
3.3	Spectres d'absorption UV du biothanol préparé et ethanol commercial	62
3.4	Teste inflammabilité	62
3.5	Conclusion	63

Liste des figures

Figure N°	Nom de figure	Page
Figure 1-1	collecte des ordures ménagères	13
Figure 1-2	variété de produits alimentaires	13
Figure 1-3	la différente classification des déchets selon les propriétés du déchet	22
Figure 1-4	Pollution d'air	24
Figure 1-5	Fumée Dégagée de L'incinération	25
Figure 1-6	Une décharge à Wallonie	26
Figure 1-7	Une fille se baigne dans le Danube devant une usine pesticide à Turnu Maguerele en Roumanie...	27
Figure 1-8	Impact de l'environnement sur la santé	29
Figure 1-9	L'activité de gestion des déchets (collecte, tri et recyclage)	30
Figure 1-10	Le pourcentage de différents déchets ménagers en Algériens	34
Figure 1-11	Figure1-11 : Ressources de biomasse utilisées pour la fabrication de biocarburants	38
Figure 1-12	Figure 1-12 : Utilisation énergétique de la biomasse	40
Figure 1-13	Figure 1-13 : Schéma simplifié de la pyrolyse	42
Figure 1-14	Figure 1-14 : Schéma simplifié de la gazéification de la biomasse	43
Figure 1-15	Figure 1-15 : schéma représente le processus de la fermentation alcoolcolique	46
Figure 1-16	Schéma générique de la production du bioéthanol cellulosique	47
Figure 1-17	Produits résultants de l'hydrolyse	52
Figure 2-1	Matière première utilisée pour la production du bioéthanol	55
Figure 2-2	Montage de distillation du bioéthanol	57
Figure 3-1	représente les spectres d'adsorption du bioethanol préparé (a) et de l'éthanol commercial (b)	62
Figure 3-2	Flamme obtenu après la combustion du bioéthanol	63

Liste des tableaux

Tableau N°	Nom de tableau	Page
Tableau 1-1	Caractéristiques des déchets dangereux.	15
Tableau 1-2	les déchets inerte qui visés à l'annexe I à l'arrêté ministériel du 12 Décembre2014	18
Tableau 1-3	Différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération	35
Tableau 1-4	Propriétés physico-chimiques de l'éthanol	37
Tableau 1-5	Avantages et inconvénients des différentes ressources de biomasse	38
Tableau 1-6	Récapitulatif des conditions opératoires des différentes transformations thermo-chimiques	44
Tableau 1-7	Principaux procédés de traitement	48
Tableau 1-8	Comparaison des avantages et inconvénients de l'utilisation du bioéthanol en tant que carburant (Didderen et col, 2008 ; Oesling , 2001)	51
Tableau 3-1	Caractéristiques physico-chimiques du bioéthanol	60

INTRODUCTION GENERALE

Le pétrole, le gaz naturel et leurs dérivés représentent 55% de la consommation mondiale d'énergie. Ce sont ces combustibles qui permettent l'existence des moyens de transport rapides et efficaces dont nous disposons aujourd'hui, ainsi que celle d'une bonne partie des activités industrielles. Ces énergies ne vont pas durer plus de quelques décennies : en tant que combustibles fossiles, leurs réserves sont limitées et la sécurité de l'approvisionnement est problématique pour de nombreux pays qui les importent ; leur utilisation est la principale source de gaz qui provoquent les changements climatiques et le réchauffement global. Il est donc nécessaire de trouver des substituts à ces combustibles.

Rien de plus rationnel que de produire une énergie à base de déchets riches en matière organique renouvelable (biomasse) qui constitue de nouvelles matières premières pour de nombreuses industries. La valorisation de la biomasse par les procédés biotechnologiques représente une solution de choix dans la mesure où elle contribue à l'élimination de la pollution que subit l'environnement et permet de produire des substances à forte valeur ajoutée en contribuant au développement industriel et agricole du pays. A la lumière de tout cela, une attention particulière doit être accordée à une meilleure gestion des déchets organiques et en particulier les sous-produits provenant des résidus d'agriculture (le jus des fruits , betterave ,Dattes ,cane à sucre, etc) et les exploiter dans la production de matériaux plus importants tels que le carburant (essence) ou les cosmétiques et les stérilisateurs, dont nous avons besoin de plus à l'heure actuelle, alors que l'humanité souffre de la propagation des épidémies dangereux et tueurs.

Dans ce contexte, notre travail vise à produire du bioéthanol à partir de déchets organiques, nous avons donc pris la pomme comme matière organique riche en sucres dans la production d'éthanol par le processus de fermentation.

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire des Capteurs, Instrumentations et Procédés (LCIP) de l'Université de Khenchela.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres

Le premier chapitre présent une étude générale sur l'impact des déchets organiques sur l'environnement et la santé humaine. Quelques généralités la production de bioéthanol par fermentation ont été étudiés dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre présente les conditions expérimentales, les modes opératoires, et les méthodes d'analyse utilisées.

Les résultats du travail effectué sont présentés dans le troisième chapitre.

Nous finirons ce manuscrit par une conclusion générale reprenant les démarches et les résultats importants.

Chapitre 1

IMPACT DES DECHETS SUR **L'ENVIRONNEMENT**

Chapitre 01

IMPACT DES DECHETS SUR L'ENVIRONNEMENT

1.1. Définition d'un déchet

Un déchet est un débris, un résidu considéré comme indésirable et sans valeur pour la personne qui s'en débarrasse. Le terme « déchet » revêt une signification particulière selon les pays, les cultures et même les personnes. Ainsi, un objet peut être sans valeur pour une personne et avoir une valeur pour une autre (un meuble antique mis au rebut par exemple).

Selon la loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 portant sur « La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets », on entend par déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble, dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer. »[22]

1.2. Classification des Déchets

Il existe une grande variété de déchets. Ils peuvent être classés selon différents critères : producteur du déchet, propriétés du déchet, secteur où est produit le déchet.

Ce classement permet de distinguer les règles applicables par les acteurs de la gestion des déchets et de moduler ces règles en fonction des capacités du producteur et des risques associés à la manipulation du déchet.

1.2.1. Classification selon le producteur du déchet

Les déchets peuvent être divisés en deux classes

1.2.1.1. Déchets ménagers, dont le producteur initial est un ménage ;[23]

Les déchets ménagers englobent tous les déchets produits par les ménages et assimilés (certaines collectivités et certains commerçants). Ce sont donc les déchets que tout particulier produit dans sa vie quotidienne. Les déchets ménagers regroupent les ordures ménagères (non recyclables ou pas encore recyclées), les déchets recyclables secs (journaux, papiers, carton, magazines, verre, aluminium, plastique) et les recyclables dits humides, organiques ou fermentescibles (déchets alimentaires, herbes, bois...).[24]



Figure 1-1 : collecte des ordures ménagères [25]



Figure 1-2 : variété de produits alimentaires [26]

1.2.1.2. Déchets d'activités économiques (DAE)

Les déchets des activités économiques (DAE), définis à l'article R. 541-8 du Code de l'environnement, sont "tout déchet, dangereux ou non dangereux, dont le producteur initial n'est pas un ménage." [27]

Les déchets économique dont le producteur initial n'est pas un ménage [23].

les déchets d'activités économiques (DAE) au sens de l'article R 8-541 .du Code de l'environnement. Sont notamment concernés les gisements suivants:

- entreprises industrielles et du BTP
- artisans et commerçants
- services publics (écoles, administrations,....)
- professionnels de santé (hôpitaux publics et cliniques privées, médecins,...)
- services tertiaires
- particuliers hors de leurs domiciles (déchets des établissements recevant du public, transports,...)[28]

- Une partie des déchets des "activités économiques" sont des déchets assimilés.. [27]

1.2.2. Classification selon les propriétés du déchet

- Les déchets peuvent être classés en trois catégories , selon leur nature et selon leur dangerosité (dangereux, non dangereux, inertes)[23]

1.2.2.1. Déchets dangereux(DD):

Le terme déchets spéciaux ou encore déchets dangereux est associé à des déchets qui, en raison de leur composition ou de leurs propriétés physico-chimiques (corrosifs, explosifs, toxiques, inflammables, cancérigène, infectieux, etc.) présentent un danger pour la santé humaine ou pour l'environnement. Même si généralement, les ménages n'en produisent qu'en faible quantité (produits phytosanitaires, équipements électroniques, etc.), ils ne devraient pas être jetés dans la poubelle réservée aux ordures ménagères [29]

➤ Différentes dénominations existent afin de sous-catégoriser les déchets dangereux, notamment en fonction du producteur:

- les déchets industriels dangereux (DID), anciennement appelés déchets industriels spéciaux (DIS);[30]
- les déchets dangereux des ménages (DDM), anciennement appelés déchets ménagers spéciaux (DMS)[31 ,32]
- les déchets d'activités de soins (DAS)[33]

Ce type de déchet doit donc impérativement subir un ensemble de traitements appropriés pour en réduire la toxicité et le risque de contamination. Ils nécessitent donc des filières spécifiques de collecte, de transport, de traitement, de recyclage et d'élimination [29]

Parmi les 15 caractéristiques par lesquelles les déchets dangereux sont identifiés a partir ce tableau suivant

Tableau 1-1 :Caractéristiques des déchets dangereux[34]

Code	Propriété	Description
HP1	<u>Explosif</u>	Déchet susceptible, par réaction chimique, de dégager des gaz à une température, une pression et une vitesse telles qu'il en résulte des dégâts dans la zone environnante. Les déchets pyrotechniques, les déchets de peroxydes organiques explosibles et les déchets autoréactifs explosibles entrent dans cette catégorie.
HP2	<u>Comburant</u>	Déchet capable, généralement en fournissant de l'oxygène, de provoquer ou de favoriser la combustion d'autres matières.
HP3	Inflammable	Déchet liquide inflammable déchet liquide ayant un point d'éclair inférieur à 60 °C ou déchet de gazoles, carburants diesel et huiles de chauffage légères dont le point d'éclair est > 55 °C et ≤ 75 °C.

		<p><i>Déchet solide ou liquide pyrophorique inflammable déchet solide ou liquide qui, même en petites quantités, est susceptible de s'enflammer en moins de cinq minutes lorsqu'il entre en contact avec l'air.</i></p> <p><i>Déchet solide inflammable déchet solide qui est facilement inflammable, ou qui peut provoquer ou aggraver un incendie en s'enflammant par frottement.</i></p> <p><i>Déchet gazeux inflammable déchet gazeux inflammable dans l'air à 20 °C et à une pression normale de 101,3 kPa.</i></p> <p><i>Déchet hydroréactif déchet qui, au contact de l'eau, dégage des gaz inflammables en quantités dangereuses.</i></p> <p><i>Autres déchets inflammables aérosols inflammables, déchets auto-échauffants inflammables, peroxydes organiques inflammables et déchets autoréactifs inflammables.</i></p>
HP4	<i>Irritant - irritation cutanée et lésions oculaires</i>	<i>Déchet pouvant causer une irritation cutanée ou des lésions oculaires en cas d'application.</i>
HP5	<i>Toxicité spécifique pour un organe cible (STOT) - toxicité par aspiration</i>	<i>Déchet pouvant entraîner une toxicité spécifique pour un organe cible par une exposition unique ou répétée, ou des effets toxiques aigus consécutifs à l'aspiration.</i>
HP6	<i>Toxicité aiguë</i>	<i>Déchet qui peut entraîner des effets toxiques aigus après administration par voie orale ou cutanée, ou à la suite d'une exposition par inhalation.</i>
HP7	<i>Cancérogène</i>	<i>Déchet qui induit des cancers ou en augmente l'incidence.</i>
HP8	<i>Corrosif</i>	<i>Déchet dont l'application peut causer une corrosion cutanée.</i>
HP9	<i>Infectieux</i>	<i>Déchet contenant des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou dont on a de bonnes raisons de croire qu'ils sont responsables de maladies chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants.</i>

<i>HP10</i>	<i>Toxique pour la reproduction</i>	<i>Déchet exerçant des effets néfastes sur la fonction sexuelle et la fertilité des hommes et des femmes adultes, ainsi qu'une toxicité pour le développement de leurs descendants.</i>
<i>HP11</i>	<i>Mutagène</i>	<i>Déchet susceptible d'entraîner une mutation, à savoir un changement permanent affectant la quantité ou la structure du matériel génétique d'une cellule.</i>
<i>HP12</i>	<i>Dégagement d'un gaz à toxicité aiguë</i>	<i>Déchet qui dégage des gaz à toxicité aiguë (Acute tox. 1, 2 ou 3) au contact de l'eau ou d'un acide.</i>
<i>HP13</i>	<i>Sensibilisant</i>	<i>Déchet qui contient une ou plusieurs substances connues pour être à l'origine d'effets sensibilisants pour la peau ou les organes respiratoires.</i>
<i>HP14</i>	<i>Écotoxique</i>	<i>Déchet qui présente ou peut présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement⁶.</i>
<i>HP15</i>	<i>Déchet capable de présenter une des propriétés dangereuses susmentionnées que ne présente pas directement le déchet d'origine</i>	

Concrètement, les grands types de déchets dangereux sont les suivants :[35]

- *Boues de stations d'épuration industrielles ;*
- *Bois et sous-produits du bois traités ou souillés ;*
- *Chiffons et absorbants souillés*
- *Déchets contenant du mercure*
- *Déchets phytosanitaires*
- *Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)*
- *Déchet dangereux diffus (DDD) et spécifiques (DDS)*
- *Emballages souillés*
- *Fluides de coupe*
- *Fluides frigorigènes*
- *Huiles usagées*
- *Mâchefers*
- *Déchets contenant des PCB-PCT*

- *Peintures*
- *Piles et accumulateurs*
- *Solvants*
- *Déchets issus de la dépollution des sols*
- *Sources radioactives*
- *Véhicules hors d'usage (VHU) non dépollués*
- *Déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés (DASRIA)[36,37]*
- *Déchets amiantés.[38,39]*

sans oublier les résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères [40]

1.2.2.2. Déchets non dangereux(DND)

Un déchet non dangereux ou DND (anciennement dénommé déchet banal) est, pour tous les États-membres de l'Union européenne, une catégorie de déchet répondant à la définition suivante : « tout déchet qui ne présente aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux ,« c'est-à-dire un déchet qui ne présente aucune des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive /98/2008CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. [41]

- *"ils regroupent les déchets ménagers et les déchets non dangereux (déchets industriels banals (DIB))" comme les emballages et les matériaux non souillés par des substances dangereuses[42]*
- *Les règles de gestion sont plus souples que pour les déchets dangereux. Il s'agit par exemple de biodéchets, de déchets de verre ou de plastique, de bois, etc[23]*
- *Les déchets non dangereux sont généralement classifiés en deux catégories distinctes : les déchets non dangereux non inertes et les déchets non dangereux inertes [41]*

1) Déchets non dangereux inertes :

Conformément à l'art. R 8-541 du code de l'environnement

Les déchets inertes sont des déchets non dangereux qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine.

Il s'agit en majorité de déchets provenant du secteur du bâtiment et des travaux publics (déchets de béton, de briques, carrelage, céramique, faïence, tuiles, ardois ,....).[43]

les déchets inertes ne sont pas [44] :

des déchets présentant au moins une des propriétés de danger énumérées à l'annexe I de l'article R. 541-8 du code de l'environnement, notamment des déchets contenant de l'amiante comme les matériaux de construction contenant de l'amiante, relevant du code 17 06 05 de la liste des déchets, les matériaux géologiques excavés contenant de l'amiante, relevant du code 17 05 03* de la liste des déchets et les agrégats d'enrobé relevant du code 17 06 05* de la liste des déchets ;*

- *des déchets liquides ou dont la siccité est inférieure à 30 % ;*
- *des déchets dont la température est supérieure à 60 °C ;*
- *des déchets non pelletables ;*
- *des déchets pulvérulents, à l'exception de ceux préalablement conditionnés ou traités en vue de prévenir une dispersion sous l'effet du vent ;*
- *des déchets radioactifs.*

Par défaut, les déchets inertes sont les déchets visés à l'annexe I à l'arrêté ministériel du 12 Décembre 2014

Tableau 1-2 : les déchets inerte qui visés à l'annexe I à l'arrêté ministériel du 12 Décembre 2014

Code Déchet	Description	Restriction
17 01 01	Béton	<i>Uniquement les déchets de production et de commercialisation ainsi que les déchets de construction et de démolition ne provenant pas de sites contaminés, triés</i>
17 01 02	Briques	<i>Uniquement les déchets de production et de commercialisation ainsi que les déchets de construction et de démolition ne provenant pas de sites contaminés, triés</i>
17 01 03	Tuiles et céramiques	<i>Uniquement les déchets de production et de commercialisation ainsi que les déchets de construction et de démolition ne provenant pas de sites contaminés, triés</i>

17 01 07	Mélanges de béton, tuiles et céramiques ne contenant pas de substances dangereuses	Uniquement les déchets de construction et de démolition ne provenant pas de sites contaminés, triés
17 02 02	Verre	Sans cadre ou montant de fenêtres
17 03 02	Mélanges bitumineux ne contenant pas de goudron	Uniquement les déchets de production et de commercialisation ainsi que les déchets de construction et de démolition ne provenant pas de sites contaminés, triés
17 05 04	Terres et cailloux ne contenant pas de substance dangereuse	A l'exclusion de la terre végétale, de la tourbe et des terres et cailloux provenant de sites contaminés
20 02 02	Terres et pierres	Provenant uniquement de jardins et de parcs et à l'exclusion de la terre végétale et de la tourbe
10 11 03	Déchets de matériaux à base de fibre de verre	Seulement en l'absence de liant organique
15 01 07	Emballage en verre	Triés
19 12 05	Verre	Triés

Par ailleurs, certains déchets peuvent être considérés comme inertes s'ils respectent les critères de l'annexe II à l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014.

2) Déchets non inertes et non dangereux

Les déchets non dangereux non inertes sont variés. Généralement, on les définit par défaut comme étant ceux qui ne présentent aucune des caractéristiques spécifiques aux déchets dangereux et qu'on désigne parfois comme « déchets banals ».[45]

- **Origine et la nature des déchets non dangereux non inerte**

Les déchets non dangereux non inertes, avec environ 92 millions de tonnes, représentent 27 % des déchets produits en un an en France par les ménages, collectivités et l'ensemble des acteurs économiques.

On les distingue par leur origine et leur nature. Ils sont identifiés d'après une nomenclature, mais également selon la filière de traitement ou de valorisation qu'ils ont suivie après avoir été réduits au maximum. Il existe différents types de déchets :

1) Déchets recyclables

Ces déchets sont constitués de matériaux qui, après une éventuelle étape de prétraitement, et/ou de transformation, peuvent être utilisés en substitution d'une matière première vierge dans un cycle de production (recyclage).

En France, les principales matières recyclées à partir des déchets sont :

- *le verre (issu des emballages en verre des ménages et du secteur de l'hôtellerie) ;*
- *les métaux (entreprises, emballages des ménages, équipements électriques et électroniques ..)*
- *les cartons (pour les activités économiques, les administrations et les ménages) ;*
- *les papiers ;*
- *le bois ;*
- *les plastiques ;*
- *les textiles.*

D'autres filières se développent progressivement pour des gisements qui n'étaient pas recyclés auparavant : matelas, meubles ...

A noter que les produits et emballages recyclables faisant l'objet d'une consigne de tri et relevant d'un dispositif de REP sont soumis à la signalétique commune Triman. Cette signalétique informe le consommateur que le produit ou l'emballage doit être trié pour rejoindre une filière de recyclage adaptée.[45]

2) Déchets organiques

Ces déchets comportent de la matière organique biodégradable : il s'agit essentiellement de déchets de jardin, de restes de repas pour les ménages ou la restauration collective, d'invendus de la distribution de déchets agroalimentaires...

Certains de ces déchets peuvent être évités, d'autres peuvent être valorisés dans des filières adaptées.

Quelques exemples de catégories :

biodéchets des ménages ou des gros producteurs de déchets organiques : la réglementation impose, au-delà de certains seuils de quantité, de les collecter et de les valoriser ;

déchets sous-produits animaux : ils sont soumis à une réglementation spécifique ;

boues de station d'épuration des eaux usées.[45]

3) Déchets présentant un intérêt comme combustible

Ces déchets sont utilisés dans des filières de valorisation énergétique. Il peut s'agir de déchets ménagers ou industriels résiduels, après mise en œuvre des collectes séparées, ou de refus de tri, riches en matériaux plastiques.[45]

4) Déchets en mélange

Ces déchets sont plus difficiles à valoriser. Ils suivent souvent la voie de l'élimination en stockage [45]

Déchets non dangereux

Tous les déchets non définis comme dangereux (art. R.541-8 du Code de l'Environnement)

Déchets dangereux

Déchet présentant au moins une propriété qui rend le déchet dangereux. La dangerosité repose sur une liste de 15 critères précisés à l'annexe I de l'art. R.541-8 du Code de l'Environnement

Déchets inertes

« tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine » (art. R.541-8 du Code de l'Environnement)

Déchets non inertes

Déchets non dangereux en mélange

Plâtre

Bois bruts ou traités avec des substances non dangereuses (palettes, etc.)

Métaux ferreux ou non ferreux

Déchets végétaux

Matières plastiques

Papiers, cartons non souillés

Matériaux isolants (fibre de verre, laine de roche, etc.)

Pneus usagés

...

Terres et cailloux non pollués



Bétons



Déchets inertes en mélange



Enrobés et produits à base de bitume ne contenant pas de goudron



Briques, Tuiles, céramiques, Ardoises

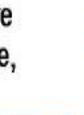
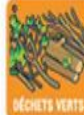
Boues de draguage et de curage non polluées



Ballast de voie non pollué



Verre ...



Terre et cailloux pollués

Enrobés, mélanges bitumineux et produits contenant du goudron

Huiles hydrauliques, huiles de véhicules, etc...

Déchets dangereux en mélange

Bois traités avec des substances dangereuses

Emballages souillés ou ayant contenu un produit dangereux

Amiante lié à des matériaux non dangereux (vinyle amianté, etc...)

Amiante friable (flocage, calorifugeage, faux plafonds amiantés, etc...)

Tubes fluorescents (néons), ampoules fluo compactes (basse consommation), diode électroluminescente (LED)

Boues de draguage et de curage polluées

Batteries, piles, et accumulateurs

Déchets pollués (PCB, PCT...)

Gaz réfrigérants

(ChoroFluoroCarbone, fréon)



Déchet : « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien ou meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » (art. R.541-1-1 du Code de l'Environnement)

1.2.3. Classification Selon le Secteur de Production

La « nomenclature des déchets » est une codification réglementaire établie au niveau européen qui permet d'identifier chaque type de déchet par un code à six chiffres faisant référence au secteur de production du déchet. Les déchets dangereux sont signalés par une étoile après le code.

La nomenclature des déchets est la référence en termes de classification des déchets. Le code du

déchet issu de cette nomenclature est nécessaire dans tous les documents officiels de gestion de ce déchet.[23]

1.3. L'impact des déchets sur l'environnement et la santé humaine

1.3.1. L'impact des Déchets Sur L'environnement

- **Pollution atmosphérique**

L'élimination inconsidérée des déchets a pour conséquence la pollution atmosphérique, de l'eau et du sol. Ainsi ces déchets rejetés polluent fortement l'air que nous respirons et ce de façons différentes. L'air que l'on respire tous les jours est contaminé à cause de nos actes inconsidérés prévalant depuis déjà des années. Cette pollution atmosphérique est responsable de la mort de 2.4 millions de personnes par an dans le monde entier. L'air pollué diminue l'espérance de vie des hommes, cause des troubles cardiaques, respiratoires ou reproductifs. De plus il favorise les maladies respiratoires comme asthme. Inspiré sur la source suivante



Figure 1-4 : Pollution d'air

Une des causes principales de la pollution atmosphérique est causée par l'existence des décharge, car celle-ci contiennent une grande quantité de déchets différents dont les rejets organiques font

partie. Et le mélange entre les déchets organiques et l'eau provoquent une fermentation de méthane qui est un gaz à l'effet de serre. Donc indirectement la décharge est une cause de la pollution d'air.

Pourtant il existe une autre manière de détruire les déchets d'une façon nettement plus respectueuse de l'environnement. C'est l'incinération. C'est-à-dire le fait de brûler des déchets dans un grand four, à l'aide de mazout ou de gaz de ville. Ce processus d'incinération utilise des filtres électrostatiques et des filtres manches qui aident à dégager la plupart des métaux lourds ou autres polluants. Cette méthode est pratiquée dans plusieurs pays mais ne s'étend pas partout car l'installation de telles installations coûte très cher. Et de plus, même avec le progrès de la technologie, cela reste encore une méthode polluante. La fumée rejetée pendant le brûlage des déchets contient encore des métaux lourds et du dioxyde qui ont une grave conséquence sur la santé humaine et l'environnement. Bien plus, dans certains pays, l'incinération est faite à l'air libre, donc la fumée dégagée devient très toxique.

Par exemple en Afghanistan, l'armée américaine a osé brûler ses déchets à l'air libre, ce qui est catégoriquement interdit. Donc la pollution atmosphérique était inévitable.



Figure 1-5 : Fumée Dégagée de L'incinération.

Pollution de l'eau

En jetant quelque chose dans la poubelle, en tirant la chasse de l'eau nous avons tendance à oublier les conséquences de nos actes. Nous savons que l'eau est une substance renouvelable, donc qu'elle se nettoie toute seule des divers polluants, mais nous oublions toujours qu'il existe des limites. Lorsque l'eau reçoit une grande quantité de polluants, elle n'est plus capable de les détruire elle-même.

De nos jours, nous utilisons de plus en plus les matières qui contaminent l'eau, dont les déchets font partie. Les rejets humains sont la première cause de la pollution de l'eau douce. En conséquence 900'000 personnes en Amérique souffrent de maladies gastriques et de plus dans les pays pauvres, beaucoup de personnes meurent suite à une diarrhée due à de l'eau sale. Dans le même temps, chaque année plus de 6 millions de tonnes de déchets différents sont rejetés dans les océans. Cela fait une pollution visuelle et aussi une contamination des espèces vivant dans l'eau. Donc c'est très dangereux pour la santé humaine car nous mangeons les poissons qui ont ingurgité les polluants.



Figure 1-6: Une décharge à Wallonie.

De nos jours les déchets humains sont la première cause de la pollution de l'eau. Les rejets sont souvent acheminés dans les décharges et c'est là où la grande contamination des eaux commence. Comme nous savons, la plupart des décharges se trouvent à l'air libre, ce qui n'est pas très bien et

en même temps très dangereux. Quand il pleut les déchets biodégradables se mélangent avec de l'eau et cette réaction produit un carbone organique qui peut provoquer les pluies acides. Par suite ces pluies acides polluent les différents sources de l'eau comme les rivières, fleuves, océans. De plus, suite aux pluies, l'eau passe à travers des déchets, descend dans le sol et pendant des jours elle continue jusqu'à ce qu'elle atteigne les nappes phréatiques. En conséquence les nappes phréatiques sont contaminées avec des polluants divers comme les métaux lourds, les produits du nettoyage, les déchets toxiques.

Il existe une deuxième source de pollution de notre eau. Ce sont les déchets industriels rejetés dans les lacs, rivières, mers. Les déchets industriels peuvent provenir de diverses origines comme : restes de cafétérias, saleté, gravier, la maçonnerie, le béton, la ferraille, les ordures, le pétrole, les solvants, les produits chimique, le bois et d'autre résidus industriels dangereux. Ces déchets sont la plupart du temps toxiques, donc s'ils sont mal traités, ils peuvent causer de nombreux problèmes de santé ou d'environnement. Des études ont montré que la pollution par des déchets industriels rend l'eau toxique. Mais pourquoi ces déchets industriels sont jetés au l'eau ? La réponse est d'ordre économique. La plupart des industries n'ont pas les moyens de se permettre un investissement dans les équipements de contrôle de la pollution de l'eau. En conséquence ce n'est pas seulement les gens qui vont payer l'effet de ces actes, mais aussi les animaux comme les poissons et les oiseaux. Cette eau polluée est tout simplement devenue impropre à la consommation ou à l'utilisation pour l'agriculture ou même les industries. Avec comme conséquence un grand péril pour la santé humaine et l'environnement



Figure 1-7 : Une fille se baigne dans le Danube devant une usine pesticide à TurnuMaguerele en Roumanie.

- **Pollution de sol**

« On boit l'eau, on respire l'air mais on ne mange pas le sol »

Avec cette phrase, le pédologue autrichien Winfried Blum explique pourquoi nous nous préoccupons moins de la pollution de sol que celle de l'eau ou de l'air. A son avis, dès que nous ne pourrons pas manger ou inspirer, nous ferons moins attention à ce problème. Avec les années, l'érosion, la toxicité des sols et des nappes phréatiques augmentent de plus en plus donc nous sommes en train de détruire la base de notre survie. Les journaux ne cessent de parler de la pollution atmosphérique ou de celle de l'eau, mais pourquoi parle t'on si peu de la pollution des sols ? Nous oublions que c'est la terre qui produit la nourriture, protège l'eau, les matières premières. Si des substances polluent la faune et la flore, que deviendra notre planète ? C'est de nos sols que l'on tire la nourriture, les matières servant à fabriquer les habits ou les autres ressources, alors si ces sols sont pollués, de quelle qualité seront ces ressources ? De plus, c'est dans la terre que les plantes possent, donc est-ce que ces plantes seront encore capables de transformer l'hydroxyde en oxygène ? Ce sont des questions que nous ne nous posons pas ou peu, parce que nous préférons ne pas nous préoccuper de ces problèmes ni de leurs conséquences. Mais malheureusement, cette pollution a des effets négatifs nombreux, comme la diminution des matières organiques ou le fait que le sol devienne imperméable

La pollution du sol par les déchets se fait des plusieurs manières et la plupart d'entre elles on déjà

été citées dans les paragraphes suivants : « Pollution de l'air » et « Pollution du sol ». Restent les pluies acides, dues aux carbones organiques produits par les décharges et qui sont une autre source importante de pollution de nos sols avec le rejet de déchets provenant de l'industrie. L'existence de ces décharges a une grande influence sur l'état de nos sols, car tous les polluants sont absorbés par la terre. En conséquence l'érosion de notre terre ne cessera pas avant que nous nous attaquions à tous ces problèmes de manière résolue et efficace. Basé sur les connaissances générales [46].

1.3.2. L'impact des Déchets Sur la santé humaine :

Les cancers apparaissent comme la préoccupation la plus grave en termes de santé publique, mais ce n'est pas le seul groupe de pathologie qui soit liée à des facteurs environnementaux. Sont aussi considérés comme très liée à l'environnement les pathologies affectant le système respiratoire (l'asthme a doublé en dix ans pour les moins de 18 ans au cours des dix dernières années), le système immunitaire (développement des Maladies neuro-dégénératives comme la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson), les troubles de système endocrinien, la reproduction (interrogation sur la diminution de la qualité du sperme au cours des vingt à cinquante dernière années et sur la croissance de l'infertilité qui affecte environ 15 % de la population), la santé de l'enfant (l'enfant apparait plus sensible à l'apparition de facteurs de risques environnementaux en raison de caractéristiques tenant à sa physiologie et à son activité). (Christian et Alain, 2004). Le SO₂, les fumées noires, l'ozone déclenchent des symptômes d'asthmes, après un délai de trois à quatre jours, chez les patients exposés à des accroissements de pollution de fond (en dehors des «pics »). Plus généralement, des synergies peuvent apparaître dans les réactions pathologiques à un cocktail de contaminants. (Christian et Alain, 2004).

Après avoir donné un aperçu sur les définitions des différents types des déchets, en se basant sur la réglementation en vigueur, nous préciserons ensuite les définitions des modes de traitement existant de gestion des déchets municipaux

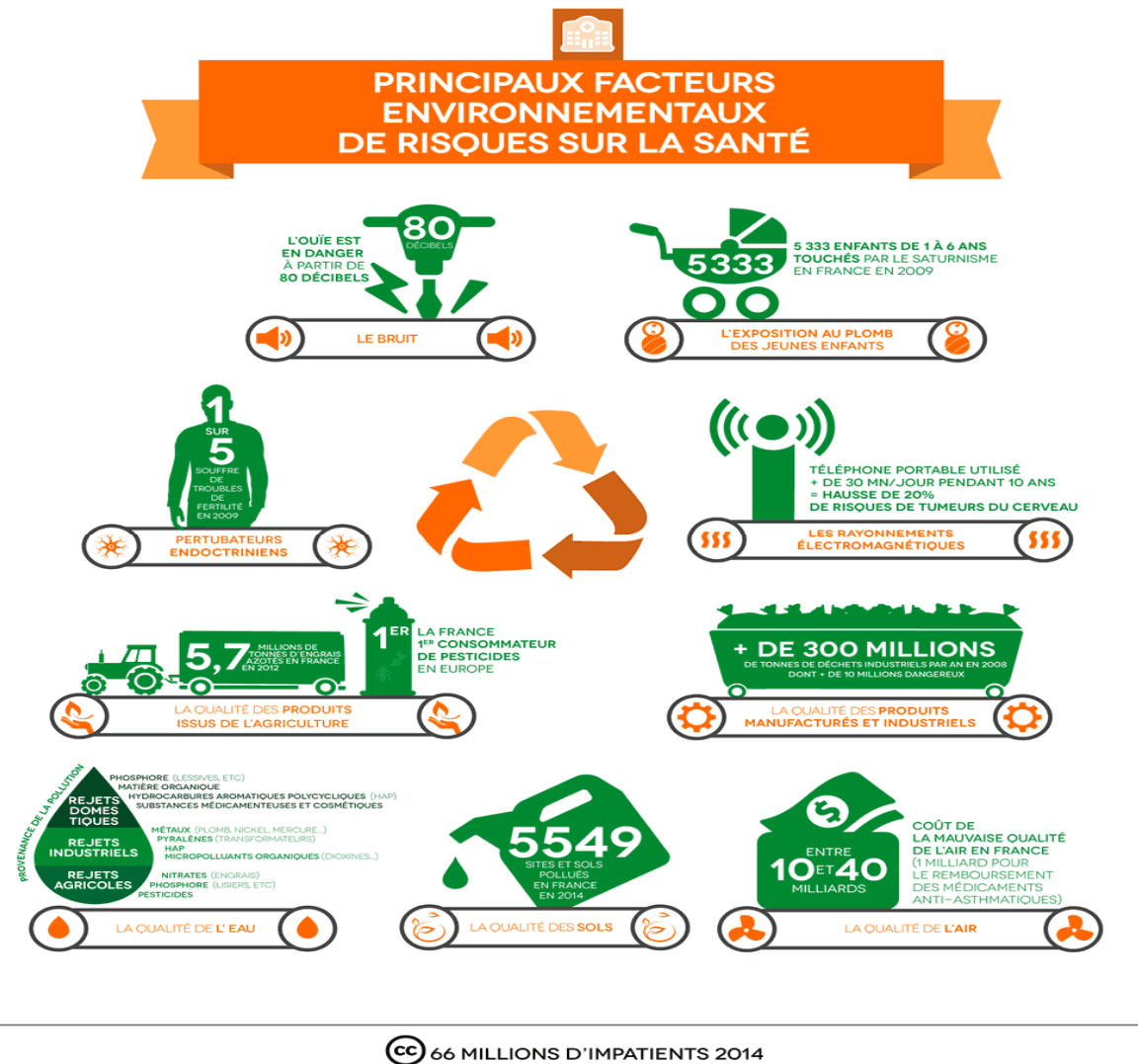


Figure 1-8: Impact de l'environnement sur la santé[47]

1.4. GÉNÉRALITÉS SUR LA GESTION DES DÉCHETS EN ALGÉRIE

Figure 1-9: L'activité de gestion des déchets (collecte, tri et recyclage)[48]

1.4.1. Les déchets ménagers et assimilés :

En Algérie, à l'instar des autres pays du monde, la production des déchets ne fait qu'augmenter. La croissance démographique, l'urbanisation de plus en plus forte et les transformations socio-économiques que connaît le pays ces dernières années ont été accompagnées par des changements notables au niveau des quantités et de la qualité des déchets produits.

La loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit le cadre général du contrôle et de l'élimination des déchets et consacre les principes d'une gestion rationnelle et saine des déchets et l'ensemble des activités qui s'y rapportent notamment la collecte, le transport, le tri, la valorisation et le traitement.

La production globale des déchets industriels (y compris les déchets industriels banals) est évaluée à 2 547 000 tonnes/an avec une quantité en stock de 4 483 500 tonnes. Les déchets spéciaux générés sont de l'ordre de 325 100 T/an. Les quantités de déchets stockés en attente d'une solution d'élimination sont de l'ordre de 2 008 500 tonnes. [48]

Parmi les déchets solides générés en Algérie, les déchets ménagers et assimilés (DMA) représentent la fraction la plus importante avec environ 11 millions de tonnes/an (2014). La maîtrise de leur composition est donc nécessaire pour évaluer au préalable leur potentiel risque pour le milieu récepteur et le choix du mode de traitement le plus optimal.[49]

A ce jour, la mise en décharge est la destination finale la plus privilégiée pour l'élimination des déchets ménagers et assimilés du fait, de son faible coût par rapport aux autres filières comme l'incinération ou le compostage

Cet état de fait a provoqué la saturation des décharges existantes et a engendré des problèmes d'hygiène et de salubrité publique (odeurs nauséabondes, problèmes respiratoires, allergie...). Ajouter à cela, le potentiel risque que constituent les lixiviats pour les nappes phréatiques ainsi que les émissions des gaz à effet de serre.

Selon les services du Ministère des ressources en eau et de l'environnement (MREE), pour la seule année 2000, les décharges ont émis environ 7 542 000 Teq.CO2

1.4.2. Les déchets industriels

L'activité industrielle en Algérie est diversifiée. Les activités les plus importantes, du fait de leur taille et de leur impact sur l'environnement sont l'agroalimentaire, l'industrie du textile, le tannage du cuir, l'industrie automobile, l'industrie métallurgique, imprimerie, l'industrie chimique, traitement de surface, cimenterie. L'activité industrielle se déroule principalement autour des grandes agglomérations urbaines et le long des côtes.

Les principaux problèmes environnementaux générés par les entreprises sont :

- *Utilisation excessive d'eau et d'énergie dans les processus*
- *Perte importante de matière première dans la production*
- *Importante quantité d'eaux usées générées et non traitées.*
- *Rejets atmosphériques souvent non contrôlés.*
- *Mauvaise gestion des déchets.*

Les déchets agroalimentaires sont de plus en plus croissants, polluants et coûteux à gérer, les principales formes de pollution sont les suivantes :

- *Pollution hydrique due aux eaux de procédés, eau de nettoyage, etc. Ces rejets sont, de leur origine, riches en matières organiques et renferment des acides aminés, des sucres et des*

- *hydrates de carbone, des graisses animales et végétales, des acides organiques, des alcools et des aldéhydes et cétones, sous forme originelle ou modifiée suite à la fermentation, etc.*
- *Déchets solides.*

Selon l'AND, les quantités des déchets industriels sont estimées à 2,5 millions de tonnes par an, alors que le taux de récupération ne dépasse pas les 7%.

Pour faire face à cette situation, le gouvernement algérien a adopté, depuis l'année 2001, la loi 01-19 du 12 (décembre 2001), relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. La valorisation des déchets industriels par leur réemploi et leur recyclage constituent une préoccupation majeure des autorités algériennes. Cela s'est traduit par le lancement et la mise en oeuvre de plusieurs projets dont notamment le Programme National de Gestion des Déchets Industriels et Spéciaux (PNAGDES) lancé en 2006, mis en place pour trouver des solutions pour le traitement de ce type de déchets par :

- *La promotion des métiers et services liés à la gestion des déchets spéciaux ;*
- *La mise en place des filières de collecte, de transport, de regroupement, de traitement et de valorisation des déchets spéciaux.*

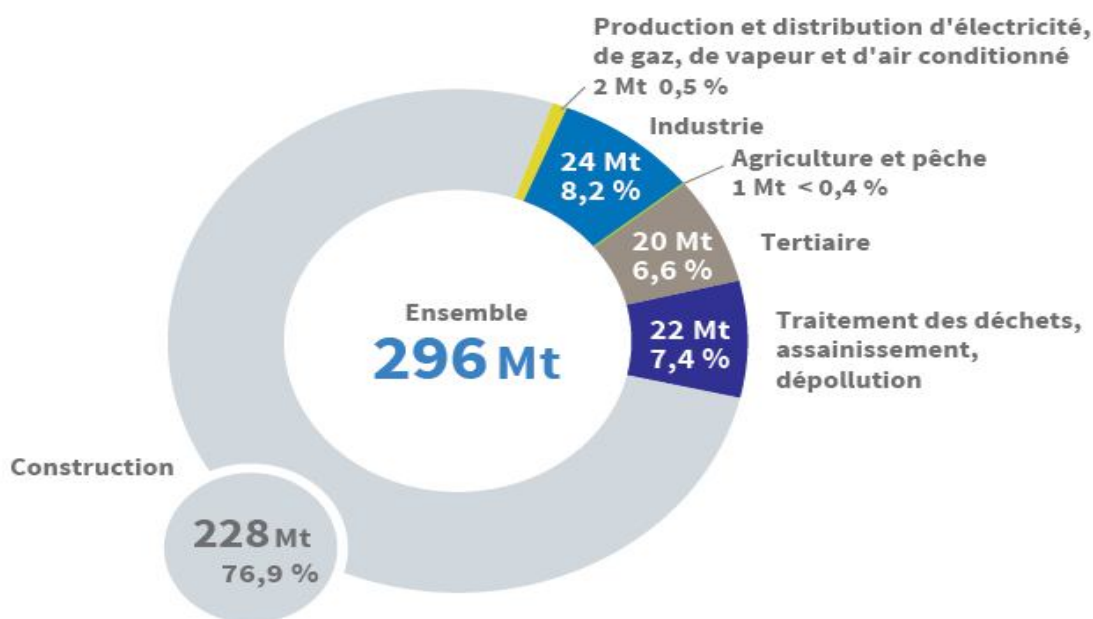
Selon l'Agence Nationale des Déchets (AND), il existe 873 micro-entreprises spécialisées dans la récupération et la valorisation des déchets, dont seulement 247 entreprises sont opérationnelles. Cela montre clairement que le secteur de la valorisation des déchets reste vierge en Algérie. Sur un autre plan, la réduction des ressources financières extérieures de l'Algérie nous incite à rechercher de nouvelles voies et de nouveaux moyens pour contribuer à la substitution de la production locale aux importations, pour exploiter au maximum les ressources productives disponibles en Algérie notamment par la récupération et le recyclage des déchets et pour encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises

L'une des industries agroalimentaire génératrice des déchets est l'industrie de transformation de pomme de terre. Un aperçu sur la capacité de production de pomme de terre en Algérie et l'industrie de transformation

- *La gestion des déchets ménagers relève de la responsabilité des collectivités territoriales, dans le cadre du « service public de gestion des déchets*
- *La gestion des déchets d'activités économiques est de la responsabilité du producteur initial de ces déchets, qui peut par exemple contractualiser avec un prestataire privé pour l'enlèvement et*

- *la gestion de ses déchets, dans le respect des exigences réglementaires concernant le tri des déchets des professionnels.*
- *Dans ce cadre, de manière générale*

les déchets des activités économiques ne relèvent pas du service public de gestion des déchets. Les collectivités peuvent cependant faire bénéficier les professionnels de ce service, pour certains types de déchets appelés « assimilés », pour lesquels il n'existe pas de sujétions techniques particulières par rapport à la gestion des déchets des ménages. On parle alors de « déchets ménagers et assimilés » (DMA). Les collectivités peuvent fixer des limites de quantités pour la prise en charge de ces déchets assimilés[23].



Source : Eurostat. RSD

Figure 1-10 : Le pourcentage de différents déchets ménagers en Algérie [50],

1.5. Production de bioéthanol

1.5.1. Introduction

La biomasse est une énergie alternative aux énergies fossiles. La conversion de la biomasse en carburant utilisable nécessite des procédés de transformation pour leur exploitation énergétique. Deux procédures pour la transformation de la biomasse :

-Procédé biochimique

-Procédé thermochimique

Dans ce chapitre, on définit la biomasse, ces sources et les procédures de conversion de la biomasse, Avec les différents bioénergies et la production du bioéthanol à partir de la fermentation des déchets de pomme [51]

1.5.2. Différentes bioénergies :

Les bioénergies forment un ensemble d'énergies de valorisations possibles de la biomasse: combustible chaleur (ex. le bois énergie), électricité (ex. le biogaz issu des effluents d'élevages) et carburant (ex. l'ester de colza)[52]. Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et notre dépendance au pétrole, il est impératif de trouver une énergie alternative. Les biocarburants sont

une solution déjà

utilisée mais qui doit encore évoluer.[53]

On distingue deux types de bioénergies qui sont : le biogaz et le biocarburant.

1.5.2.1. Le biogaz :

C'est un mélange de méthane combustible et de gaz carbonique ; il est issu de la fermentation anaérobie de la matière organique contenue dans les déchets. Le biogaz peut être produit spontanément, dans des conditions naturelles (marais, décharges d'ordures ménagères, etc.) ou bien dans des installations spécifiques appelées digesteurs [54]

1.5.2.2. Le biocarburant :

C'est un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de biomasse.

Le Tableau1-3 représente les différentes générations de biocarburants [agro Carburant = biocarburant issu de cultures agricoles]. [52]

➤ *Les biocarburants peuvent être divisés en deux groupes :le biodiesel et le bioéthanol*

a) Le biodiesel :

- *Le biodiesel représente 27% des biocarburants dans le monde, mais plus de 77% en europe, où il s'est fortement développé [55]. Le biodiesel est produit à partir d'huile végétale (triglycérides) par une réaction chimique avec un alcool (méthanol ou éthanol) et en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou potassium) [56]*

Tableau 1-3 : Différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération [57]

Génération	1ère génération	2ème génération	3ème génération
<i>Origine des Substrats</i>	<i>grains de blé, colza, tournesol</i>	<i>déchets organiques, (les dattes, la betterave sucrière...)</i>	<i>micro algues</i>
<i>Procédés mis en œuvre</i>	<i>fermentation, tans estérification</i>	<i>gazéification, hydrolyse enzymatique, méthanisation</i>	<i>méthanisation, gazéification, fermentation</i>
<i>Produit</i>		<i>bio méthane,</i>	<i>bio méthane,</i>

<i>Final</i>	<i>bioéthanol, biodiesel</i>	<i>bioéthanol, biodiesel, bio hydrogène</i>	<i>bioéthanol, biodiesel,</i>
<i>Rendement énergétique metp/ha/an</i>	<i>1 à 4</i>	<i>3,5 à 5</i>	<i>20 à 40</i>
<i>Stade de maturité technologique</i>	<i>industriel</i>	<i>industrialisation à court terme</i>	<i>recherche pilote</i>

b) Le bioéthanol :

Le bioéthanol, une sorte d'énergie de biomasse, est un carburant de rechange pour l'essence. C'est une ressource renouvelable considérée comme une alternative aux combustibles fossiles qui s'épuisent. La production traditionnelle de bioéthanol provient principalement de sucre. Cependant, cela entraîne une concurrence entre les sources d'énergie alimentaire et la biomasse. Par conséquent, les matériaux lignocellulosique sont progressivement considérés comme des ressources renouvelables plus attrayantes pour la production d'éthanol en raison de leur disponibilité et de leur coût relativement faible.[58]

Le bioéthanol est produit par fermentation du sucre provenant des cultures sucrières (canne à sucre, betteraves, blé), ou provenant des cultures contenant de l'amidon (graines). La structure de l'amidon est une longue chaîne de polymère de glucose. Ce polymère ne peut pas être fermenté directement, la structure doit d'abord être cassée en des molécules de glucoses plus petites puis dissoute dans de l'eau. Ce mélange est ensuite chauffé et traité avec une enzyme. Cette enzyme permet d'hydrolyser l'amidon en chaîne courte de glucose et est appelée amylase (enzyme digestive). La fermentation transforme alors les sucres ou l'amidon en éthanol et en dioxyde de carbone grâce à des levures telles que Saccharomyces. En théorie 51% du glucose est convertie en éthanol, le reste est utilisé par la levure comme source d'énergie ce qui diminue l'efficacité de 40 à 48%.[56]

Le **Tableau 1-4** donne quelques caractéristiques physico-chimiques de l'éthanol.

Tableau 1-4 : Propriétés physico-chimiques de l'éthanol[59]

Tableau 1-4 : Propriétés physico-chimiques de l'éthanol

<i>Paramètre</i>	<i>unité</i>	<i>Bioéthanol</i>
<i>Formule</i>	/	<i>C₂H₆O</i>
<i>masse moléculaire</i>	<i>g/mol</i>	<i>46,069</i>
<i>Apparence</i>	/	<i>Liquide incolore</i>
<i>Densité</i>	<i>kg/litre</i>	<i>0,79</i>
<i>Indice d'octane (RON)</i>	/	<i>102-103</i>
<i>Indice d'octane (MON)</i>	/	<i>89-96</i>
<i>Chaleur latente de vaporisation</i>	<i>kJ/kg</i>	<i>842-930</i>
<i>Pression de vapeur</i>	<i>kPa</i>	<i>15-17</i>
<i>Température d'allumage</i>	<i>°C</i>	<i>420</i>
<i>Température de fusion</i>	<i>°C</i>	<i>-144,4</i>
<i>Température de vaporisation</i>	<i>°C</i>	<i>78,4</i>
<i>Point d'éclair</i>	<i>°C</i>	<i>12,8</i>
<i>Solubilité dans l'eau</i>	<i>% en volume</i>	<i>100</i>

1.5.3. Energie de biomasse et voies de production

1.5.3.1. Définition de la biomasse :

La biomasse est une source d'énergie renouvelable unique puisqu'elle peut se présenter sous forme liquide, solide, ou encore gazeuse[60]. Dans le domaine de l'énergie, la biomasse regroupe « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers »[52].

1.5.3.2. Ressources de biomasse

Les filières agricoles, forestières et l'industrie agro-alimentaire sont les principaux agents fournisseurs de biomasse comme le montre la **Figure 01** Cette biomasse est susceptible d'être valorisée énergétiquement avec production de biodiésel, bioéthanol, bio méthane et hydrogène. Les différentes voies de production de bioéthanol à partir des plantes sucrière (betteraves, datte...) et de plantes lignocellulosique sont décrites ci-dessous[61].

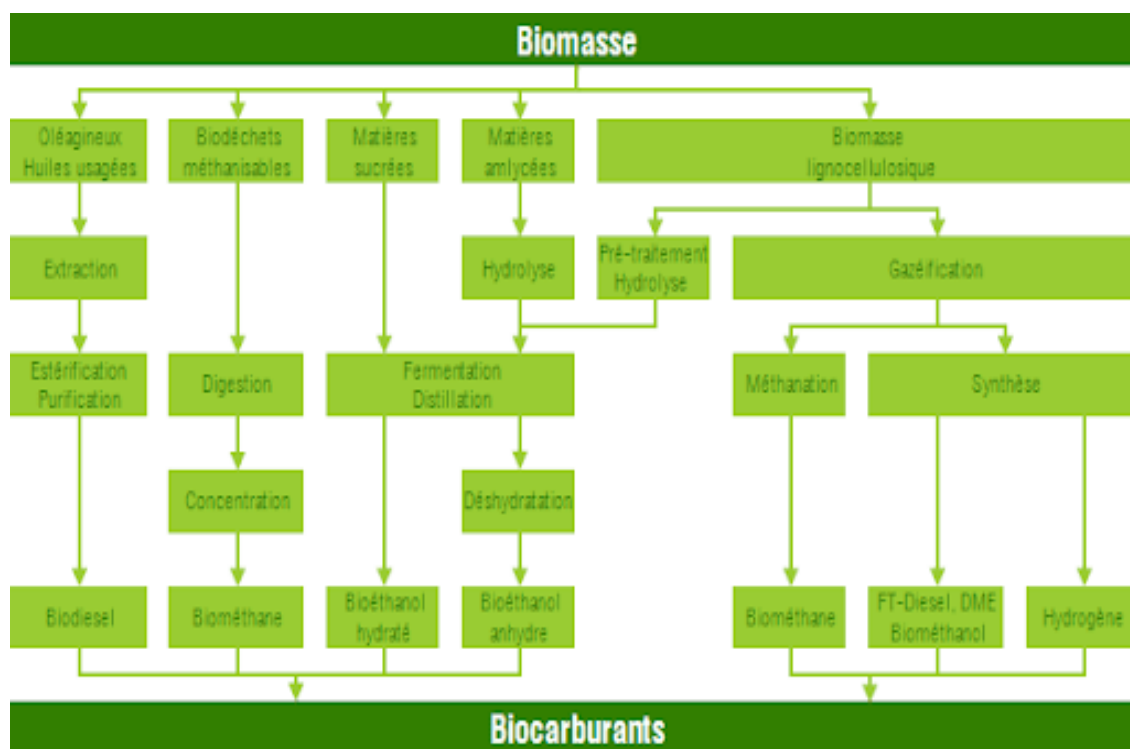


Figure 1.11 : Ressources de biomasse utilisées pour la fabrication de biocarburants[62]

1.5.3.3. Avantages et inconvénients de la biomasse

La biomasse, de par sa grande diversité animale et végétale est renouvelable et durable. Elle est donc une ressource d'énergie renouvelable, propre et respectueuse de l'environnement. Elle est transformée selon différentes voies en vue de produire de la bioénergie et des produits d'intérêt. Elle présente donc plusieurs avantages mais possède également des inconvénients ; ces derniers sont résumés sur le **Tableau 1-5**

Tableau 1-5 : Avantages et inconvénients des différentes ressources de biomasse

[63]

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>La préservation des ressources de matière premières comme le pétrole brut</i>	<i>L'extension de l'utilisation de la biomasse à des terres naturelles inutilisées peut détruire les écosystèmes. La déforestation a un effet négatif substantiel sur l'empreinte carbone.</i>
<i>La possibilité de la production d'énergie neutre en carbone</i>	<i>L'apparition de monocultures (culture du maïs). La concurrence pour l'utilisation des terres restera toujours un facteur important pour la biomasse et la bioénergie</i>
<i>La production de bioénergie peut améliorer la situation économique des zones rurales et freiner l'exode vers les villes</i>	<i>Des terres de grande valeur écologique pourraient être menacées par la promotion de la culture de plantes agricoles</i>
<i>La bioénergie provenant de la sylviculture et de l'agriculture joue un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique et elle accroît la sécurité de l'approvisionnement en énergie</i>	<i>La combustion de la biomasse solide (comme le bois) cause des émissions de polluants (monoxyde de carbone, particules,..) plus importantes que la combustion de pétrole ou de gaz, à moins que des mesures supplémentaires ne soient prises.</i>
<i>La préservation des ressources de matière premières comme le pétrole brut</i>	<i>L'extension de l'utilisation de la biomasse à des terres naturelles inutilisées peut détruire les écosystèmes. La déforestation a un effet négatif substantiel sur l'empreinte carbone.</i>

1.5.3.4. Voies de production de bioénergies

Deux voies se dessinent pour transformer la biomasse lignocellulosique en biocarburant: la voie thermochimique et la voie biochimique[61].

1.5.3.4.1. Voie thermochimique :

Les procédés thermochimiques permettent de transformer la biomasse solide et hétérogène en combustibles gazeux ou liquides plus faciles à transformer. Les produits obtenus sont les huiles de pyrolyse ou de liquéfaction et les gaz de synthèse. Ils sont utilisés, soit directement pour la production de vapeur ou d'électricité, soit converti en biocarburants liquides. Cependant, cette conversion connaît encore des difficultés techniques et économiques. Trois procédés sont utilisés : la pyrolyse, la liquéfaction directe et la gazéification [61].

Principales filières de conversion thermochimiques

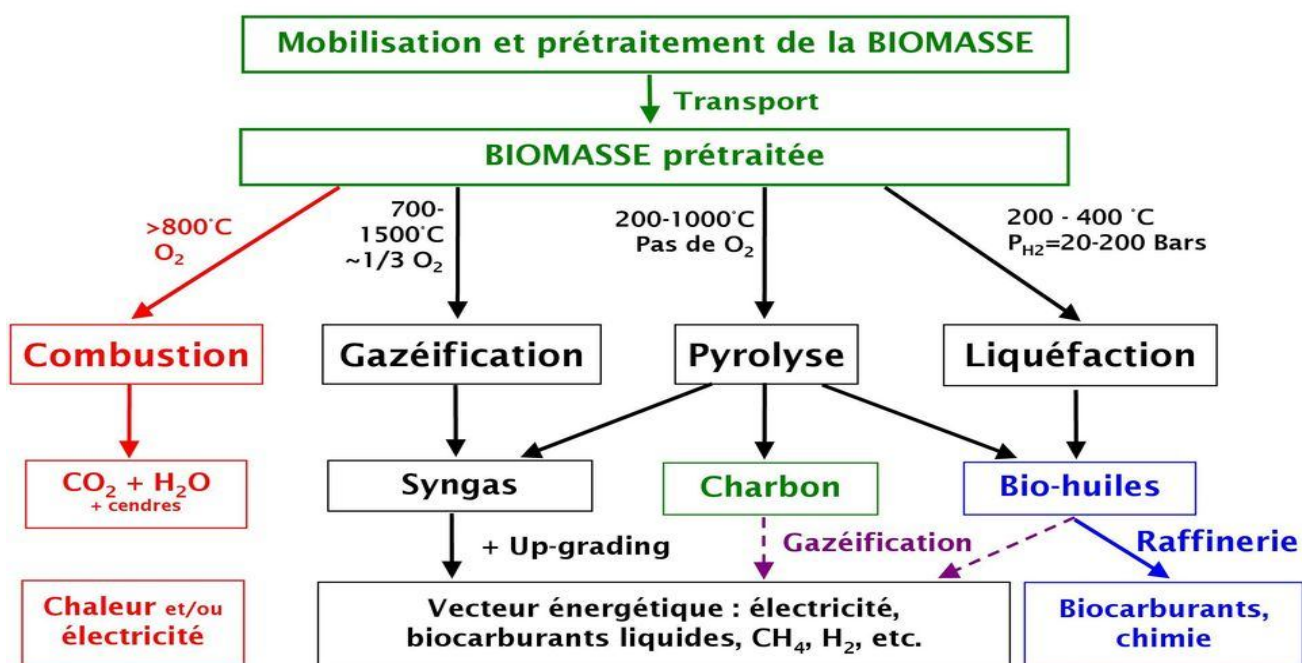


Figure 1.12: Utilisation énergétique de la biomasse [64].

1.5.3.4.1.1. La combustion :

1.5.3.4.1.1.1. Définition :

La combustion de biomasse (combustion de matières organiques) est un processus de conversion de la biomasse à une température de plus de 900°C , en présence d'air dans une chaudière ou générateur d'air chaud ou four, où il en résulte de la combustion CO_2 et O_2 et la chaleur, lorsque celles-ci sont exploitées directement, telles que le chauffage ou indirectement pour la production d'électricité. Le bois est le matériau le plus exploitable, mais il y a des matériaux plus efficaces

comme le foin, céréales de paille et la facilité de culture saule cultivé spécifiquement pour la combustion ainsi que couper du bois augmente la valeur calorifique.*

1.5.3.4.1.1.2. L'équation de combustion :

Combustion biomasse = C02 + H02 + cendre + énergie.

1.1.5. 4.1.1.3. Les étapes de combustion :

La combustion du bois se divise en différentes étapes relevant de divers processus chimiques et physiques. La combustion des matières solides comprend des réactions hétérogènes: la gazéification de la matière solide, et des réactions homogènes : la phase d'oxydation, le processus de combustion comprend plusieurs phases :

*- **Le séchage** : l'eau résiduelle contenue dans la biomasse est évaporée à cause de la chaleur du foyer.*

*-**Pyrolyse** : La chaleur dégagée par le foyer décompose les constituants de la biomasse en gaz et en fines gouttelettes de goudrons qui se vaporisent. La majorité de ces composées sont combustibles.*

*- **La combustion des gaz** : Les gaz qui s'échappent de la pièce de biomasse se combinent rapidement à l'oxygène et brûlent*

*- **Combustion du résidu carboné** :*

après que les gaz se sont dégagés, le résidu carboné brûle. Plus la pièce de biomasse est de dimension importante, plus ces quatre phases se chevauchent [9][65].

1.5.3.4.1.2. La liquéfaction

Est de mettre en solution la biomasse à l'aide d'un solvant aqueux (eau). La liquéfaction se fait en général sous pression de 150 à 200 bars et se produit sous atmosphère réductrice (en présence de H2 et de CO)[66]. En plus de la biomasse, on peut rajouter un catalyseur (les plus intéressants sont les métaux alcalins, les

alcalinoterreux...) et ainsi permettre un meilleur rendement (63%)[67]. La liquéfaction transforme la biomasse en biocarburant liquide et gazeux

1.5.3.4.1.3. La pyrolyse:

1.5.3.4.1.3.1. Définition: Le Procédé de pyrolyse est un procédé de transformation de la biomasse prise dans son sens étymologique de pyro(feux) et lyse (coupure), Un procédé qui est basé sur les températures de décomposition à des températures allant de 300 à 600 °C en l'absence d'O₂ sous vide ou en présence de gaz inerte (azote par exemple), et produit cette décomposition Gaz (CO₂, CO, CH₄), liquides (huiles) et solides (charbon) proportions différentes et distinguer deux phases de pyrolyse - la pyrolyse primaire qui provoque la décomposition du solide uniquement en gaz non condensables, en vapeurs condensables et en char

- la pyrolyse secondaire qui fait intervenir des réactions homogènes [60]. La figure suivante simplifie la pyrolyse

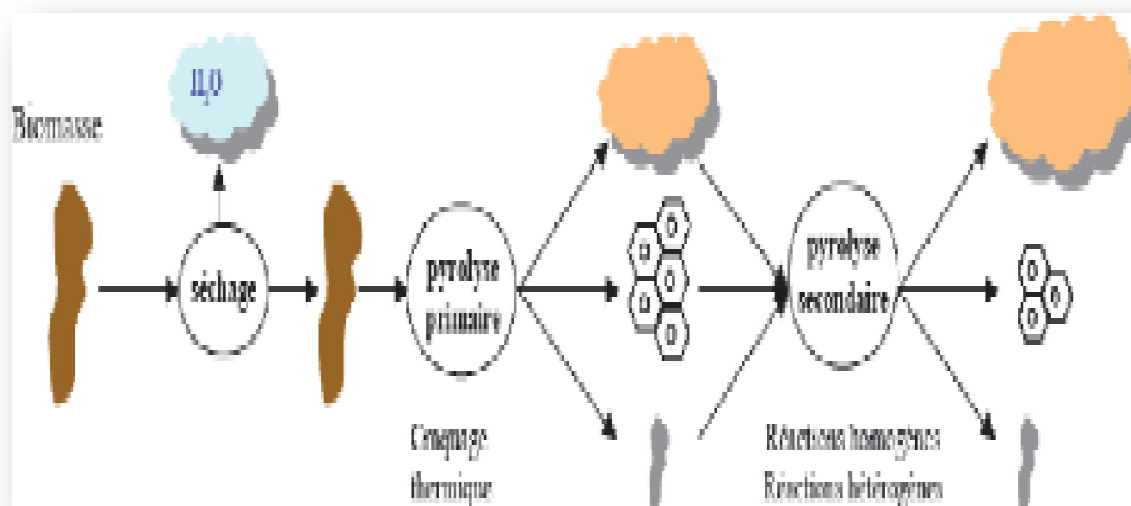


Figure 1.13 : Schéma simplifié de la pyrolyse [60]

1.5.3.4.1.4. La gazéification

1.5.3.4.1.4.1. Définition: C'est un procédé thermo-chimique qui transforme un combustible solide hétérogène en un combustible gazeux homogène et facilement utilisable par oxydation partielle (charbon, bois, autres biomasse) en gaz combustible, ce processus se produit à une température de plus 800°C en présence de gaz réactif air, O₂, CO₂, H₂O, etc. ce processus produit un mélange gazeux H₂, CO₂, CH₄, CO. L'utilisation de technologies de production d'électricité à fort rendement à la fois pour de petites et moyennes puissances (moteurs thermiques) ou de grandes puissances (turbine à gaz) à partir de la biomasse [65].

1.5.3.4.1.4.2. Les étapes de gazéification[65]:

- Séchage pour évaporer l'humidité de la biomasse.
- pyrolyse pour produire les gaz (goudrons et huiles).
- gazéification ou oxydation du charbon solide, goudrons et gaz de pyrolyse
- réduction du charbon donne de l'oxydation. La figure suivante simplifier la gazéification :

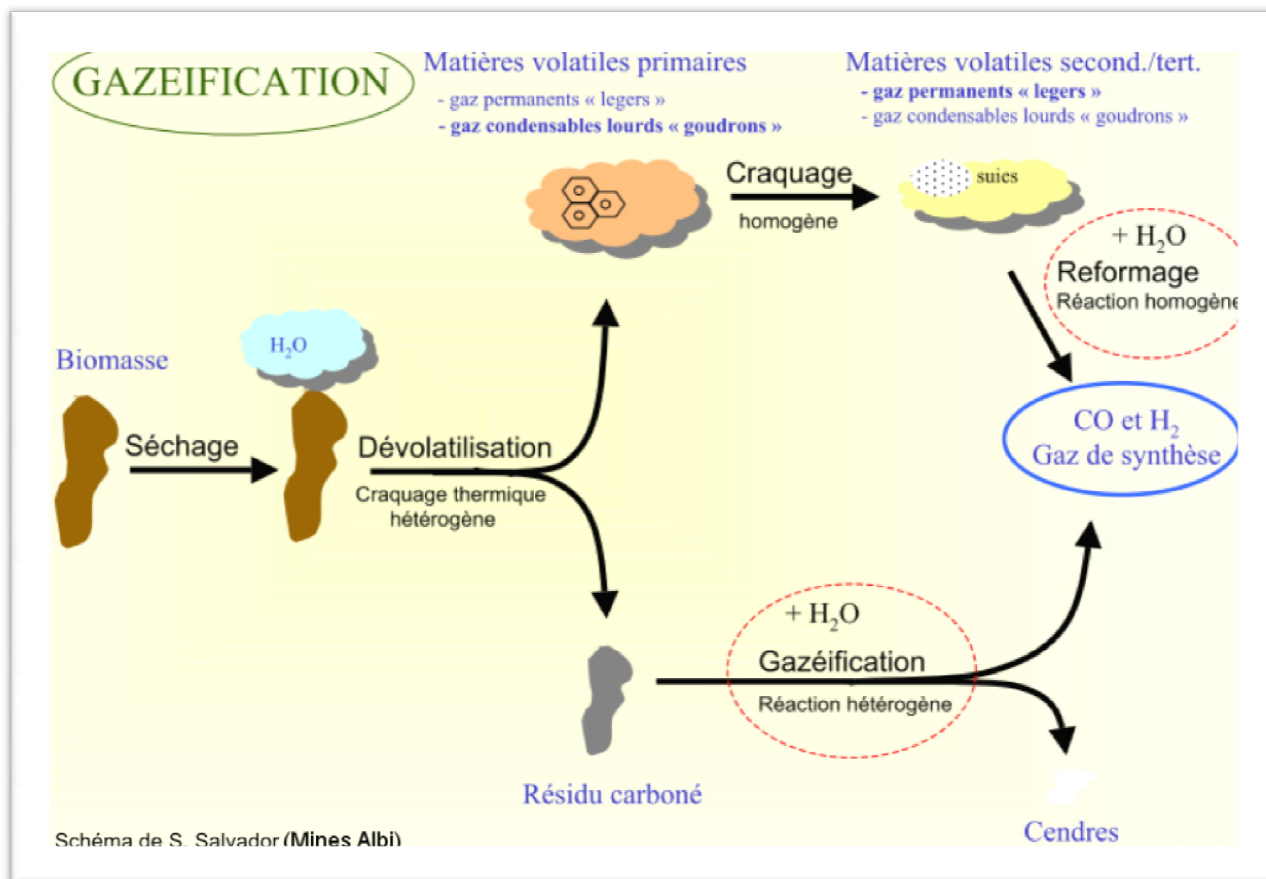


Figure 1.14 : Schéma simplifié de la gazéification de la biomasse[65]

Le tableau suivant précise pour chaque transformation les conditions en température et atmosphère ainsi que les produits obtenus:

Tableau 1-6 : Récapitulatif des conditions opératoires des différentes transformations thermochimiques

Transformation Thermochimique	Températures	Atmosphère	Produit
Combustion	> 900 °C	CO ₂ , O ₂ (air)	CO ₂ + H ₂
Pyrolyse	<700	Inerte(absence d'O ₂)	Solide carbone(charbon)+ liquide (goudron) + gaz

<i>Gazéification</i>	$> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$	<i>Gaz réactif air ,CO2, H2O, air, O2</i>	<i>Essentiellement mélange gazeux H2, CO2, CH4</i>
----------------------	---------------------------------	---	--

1.5.3.4.2 Voie biochimique

Le principal produit de la transformation biochimique de la biomasse lignocellulosique (BLC) est l'éthanol obtenu par hydrolyse suivie d'une fermentation éthanolique. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique est le bioéthanol de deuxième génération. Les procédés de production d'éthanol à partir de cette biomasse intègrent plusieurs considérations de base à savoir que :

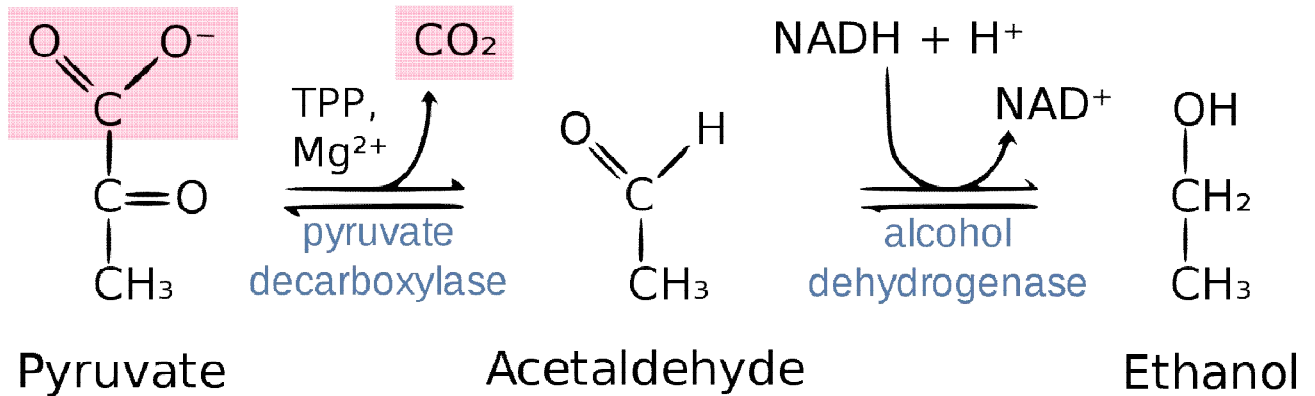
- *La lignine ne peut être fermentée en éthanol.*
- *Les fractions cellulosiques et hémicellulosiques sont des sources potentielles de sucres fermentescibles.[53]*

1.5.4. Fermentation Alcoolique Et La Production De Bioéthanol

1.5.4.1. Fermentation Alcoolique :

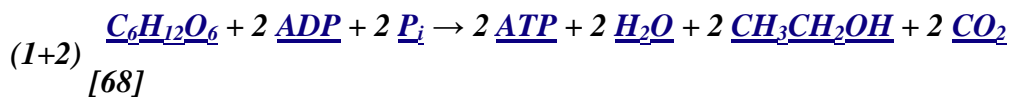
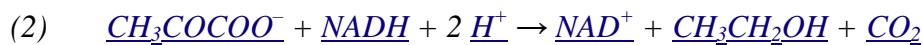
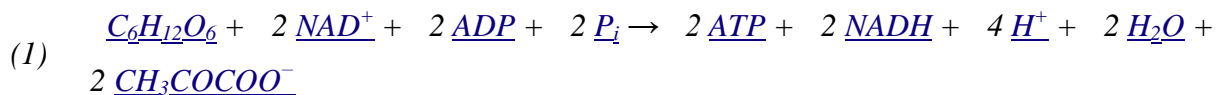
La fermentation alcoolique est réalisée notamment par les levures et convertit des glucides tels que le glucose, le fructose et le saccharose — diholoside formé des deux précédents — en éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ et dioxyde de carbone CO_2 avec production d'une faible quantité d'énergie métabolique sous forme d'ATP [68]

- *La propriété de certaines levures à transformer le sucré en éthanol est utilisée par l'homme dans la production de boissons alcooliques (et non boissons alcoolisées, comme on peut le lire improprement dans la presse ou l'entendre, car l'alcoolisation se fait de manière spontanée et non par adjonction d'éthanol/alcool), et pour la fabrication du pain. La température idéale de fermentation est de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.*



(en) Conversion du pyruvate en éthanol.

- Lors de la formation de l'éthanol (réaction 2 ci-dessous), le pyruvate $\text{CH}_3\text{COCOO}^-$ issu de la glycolyse (réaction 1) est d'abord décarboxylé en acétaldéhyde CH_3CHO avec libération d'une molécule de dioxyde de carbone CO_2 , puis réduit en éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ par l'alcool déshydrogénase avec oxydation d'une molécule de NADH en NAD⁺ :



- Les dernières étapes de la fermentation alcoolique impliquent la conversion du pyruvate en acétaldéhyde par l'enzyme pyruvate décarboxylase, suivie de la conversion de l'acétaldéhyde en éthanol.

Voici un schéma résumant le processus de la fermentation alcoolcolique :[69]

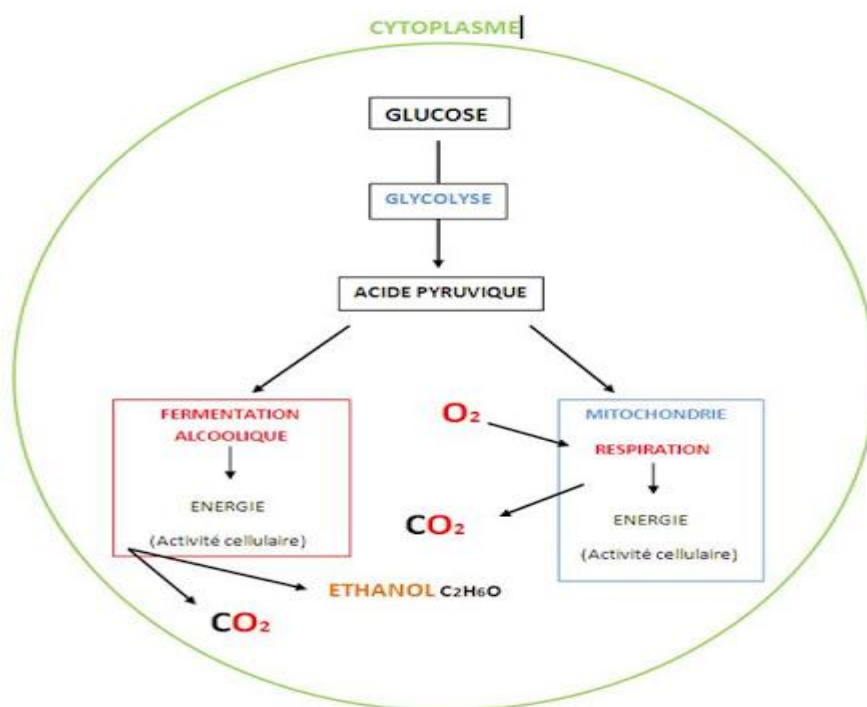


Figure 1-15 : schéma représente le processus de la fermentation alcoolique [69]

schéma

représente le processus de la fermentation alcoolique

- *Les boissons alcooliques sont obtenues par fermentation naturelles des solutions sucrées (moûts). Il s'agit d'une réaction chimique naturelle (biochimique) obtenue grâce aux micro-organismes (bactéries, moisissures, champignons) et aux levures qui grâce à leur enzyme, la zymase, décomposent les jus de fruits naturels en éthanol et en bulles de dioxyde de carbone.*
- *Les levures sont présentes naturellement à la surface des fruits ou ajoutées aux moûts (jus de fruit) que l'on fait fermenter. Concrètement, pour provoquer le processus de fermentation, il suffit de laisser le fruit au contact de l'air en prenant soin de broyer les membranes de protection biologiques (peau...), ce qui se fait en écrasant ou en broyant le fruit. Les levures en suspension dans l'air sont amplement suffisantes pour produire la fermentation de la bouillie en quelques jours.*
- *On peut aussi ajouter des levures afin d'accélérer ce processus naturel, comme la levure de bière (ou celle du pain) aussi, en maintenant la température aux alentours de 37 °C, la fermentation se produit en une heure environ.[69]*

1.5.4.2. Production Du Bioethanol :

La production du bioéthanol à partir de la biomasse ligno cellulosique comporte plusieurs étapes:

- (1) le prétraitement est nécessaire pour libérer de la cellulose et l'hémicellulose avant hydrolyse,
- (2) l'hydrolyse de la cellulose et de l'hémicellulose afin de produire des sucres fermentescibles tels que le glucose, xylose, arabinose, galactose et mannose,
- (3) la fermentation des sucres réducteurs,
- (4) la distillation[70].

La figure 1 représente le schéma générique de la production du bioéthanolcellulosique.

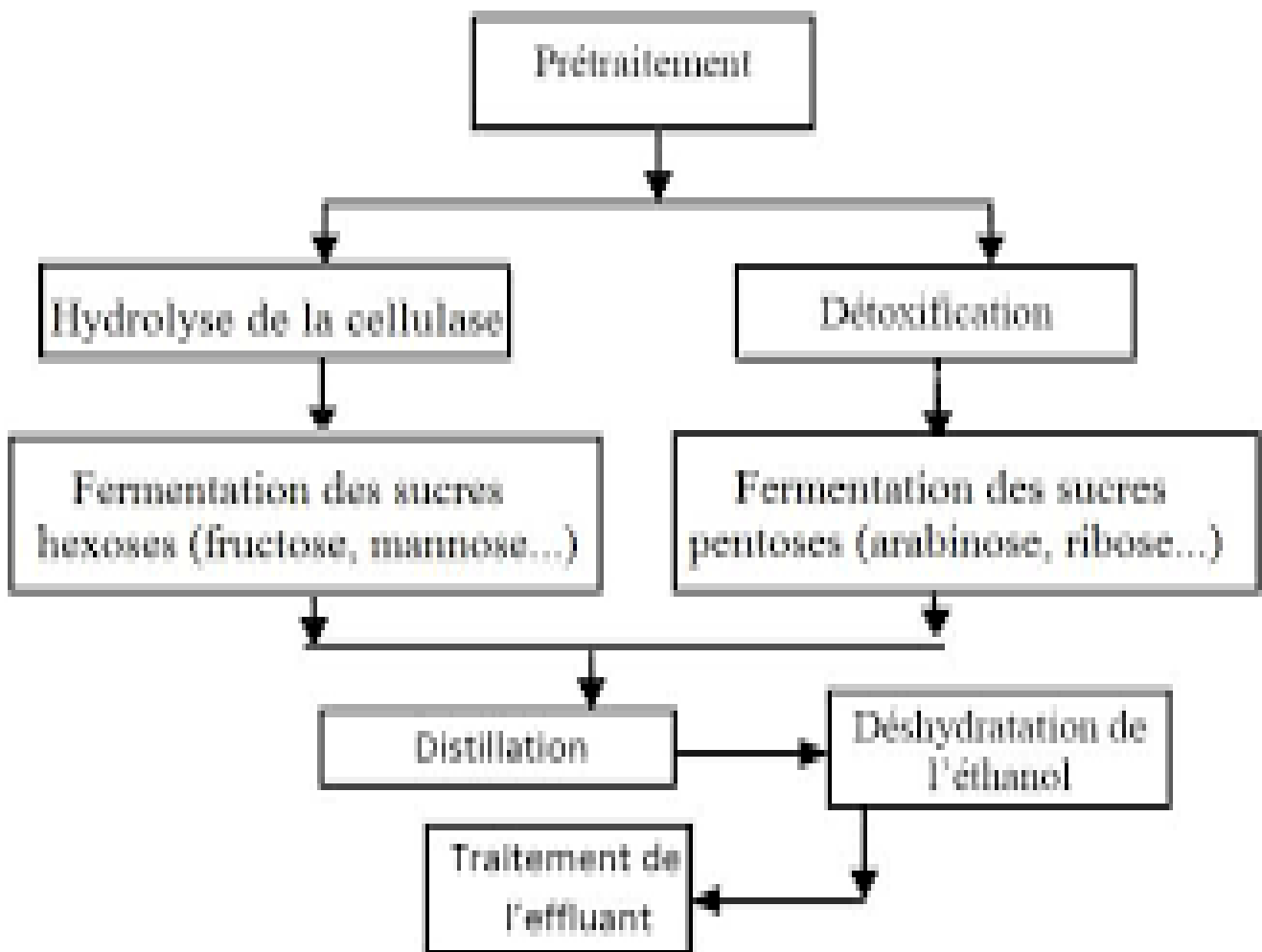


Figure 1.16: Schéma générique de la production du bioéthanol cellulosique[70]

1.5.4.2.1. Le prétraitement

Cette étape est nécessaire pour rendre la cellulose accessible à l'hydrolyse, cet objectif peut être atteint de plusieurs manières: en abaissant la teneur en lignine et hémicellulose du substrat à traiter,

en augmentant la porosité de la matrice, en diminuant la cristallinité de la cellulose ou en augmentant sa surface spécifique.

Les principales contraintes de cette étape sont d'éviter la perte ou la dégradation des sucres et de limiter la formation des produits inhibiteurs, de nombreuses techniques existent pour effectuer ce prétraitement[71]. (Tableau 1-7)

Tableau 1-7 : Principaux procédés de traitement

<i>Procédés Physiques</i>	<i>- Prétraitement mécanique - Thermolyse</i>
<i>Procédés Physico-chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Thermohydrolyse - Explosion à la vapeur. - Explosion en condition acide - Explosion en fibre d'ammoniac AFEX - Explosion au CO₂
<i>Procédés Chimiques</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Prétraitement à l'acide dilué - Prétraitement alcalin - Procédé organo-solvant (solubilisation en milieu organique) - Oxydation chimique et - Oxydation biologique.

1.5.4.2.2. L'hydrolyse

Il existe différentes méthodes d'hydrolyse de la ligno cellulose. Elles sont classées en deux groupes: hydrolyse chimique et hydrolyse enzymatique. Plusieurs produits peuvent résulter de cette hydrolyse. (Fig. 1.17).

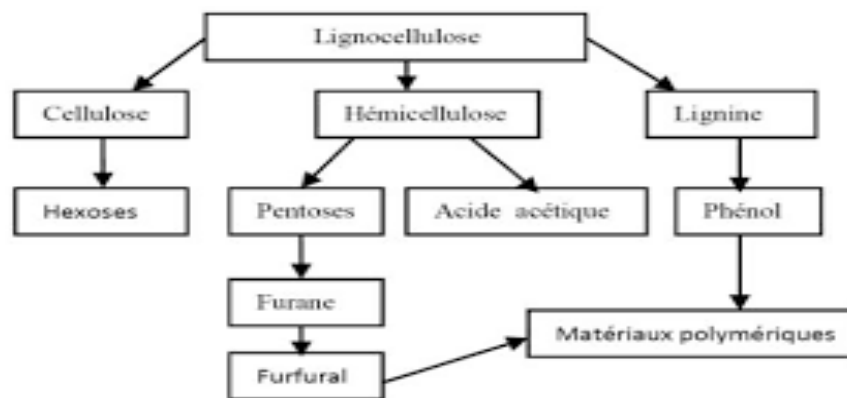


Figure 1.17: Produits résultants de l'hydrolyse

- L'hydrolyse chimique

Elle implique l'exposition de la lignocellulose à un produit chimique pour une période de temps et une température spécifique. Il existe deux types basiques d'hydrolyse chimique: hydrolyse à l'acide concentré et hydrolyse à l'acide dilué chacune avec des variations. [72]

- L'hydrolyse enzymatique

C'est une alternative écologique qui consiste à utiliser des enzymes (cellulases et hemicellulases) afin d'hydrolyser la lignocellulose en sucres fermentescibles. Les enzymes sont produites par différents microorganismes, généralement par des bactéries et des levures.

Les microorganismes peuvent être aérobies ou anaérobies, mésophiles ou thermophiles.

1.5.4.2.3. La fermentation

Si la fermentation du glucose en éthanol ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$) est une réaction bien connue et exploitée depuis des siècles, l'utilisation de matériaux lignocellulosiques comme substrat initial implique des difficultés spécifiques qui justifient des efforts de recherche conséquents. D'une part il y a formation de composés toxiques et inhibiteurs (furfural) et d'autre part la conversion des pentoses en éthanol ne peut pas être effectuée par les microorganismes classiquement utilisés en fermentation [71] Traditionnellement *Saccharomyces cerevisiae* et *Zymomonasmobilis* sont utilisées pour la fermentation du glucose en bioéthanol. Pour la fermentation des xyloses, on utilise des levures, telles que *Pichiastipitis*, *Candida shehatae* et *Candida parapsilosis*. [72]

1.5.4.2.4. La distillation

Le milieu de fermentation porté à ébullition est introduit dans la colonne, tandis qu'on apporte, à la base, de la vapeur d'eau. Après condensation, l'alcool brut est recueilli sous forme de liquide. Une

étape de purification est nécessaire pour se débarrasser des composés volatils. Le bioéthanol destiné aux carburants automobiles

1.5.5. Avantages et inconvénients du bioéthanol :

*Le bioéthanol présente de nombreuses dualités comme résumé, de manière non exhaustive dans le **tableau** . Sa formule chimique étant C_2H_5OH , il est qualifié de carburant oxygéné. Un litre d'éthanol contient environ les deux tiers de l'énergie contenue dans un litre d'essence. Cependant, l'éthanol ayant un fort indice d'octane, il peut améliorer, dans le cas d'un mélange, les performances de l'essence en diminuant les problèmes de combustion à hauts régimes (Easterly et col, 2007). L'oxygène contenu dans l'éthanol améliore la combustion du carburant, en diminuant la production de monoxyde de carbone, les quantités d'hydrocarbures non brûlés qui participent à la formation de l'ozone dans les couches inférieures de l'atmosphère et les particules émises responsables de nombreux troubles respiratoires et du noircissement des bâtiments. De plus, il contient des quantités infimes de soufre par rapport aux carburants fossiles. Donc sa combustion ne produit qu'une infime quantité d'oxyde de soufre. Ces derniers sont à l'origine des pluies acides. Néanmoins, la combustion de l'éthanol peut provoquer la formation d'oxyde d'azote (NO_x) formant alors de l'ozone dans les couches inférieures de l'atmosphère. Le bioéthanol étant produit à partir de la biomasse créée par photosynthèse, l'hypothèse est faite que le dioxyde de carbone créé pendant la combustion est celui qui avait été précédemment fixé par la plante, d'où le bilan nul sur l'étape combustion du véhicule dans le moteur pour le biocarburant. Cependant le bilan GES global sur l'ensemble du cycle de vie du biocarburant n'est pas nul car les procédés de production, de transformation ou de transport sont aussi à prendre en compte. Il ne s'agit donc que d'une réduction des émissions de GES par rapport à l'essence. L'éthanol étant un solvant hygroscopique, il pose aussi le problème de la corrosion de certaines pièces métalliques et la dégradation de certains caoutchoucs ou plastiques. Cela nécessite donc une adaptation des matériaux utilisés pour la construction du circuit d'alimentation en essence des véhicules utilisant l'éthanol pur ou le superéthanol.*

L'éthanol étant aussi miscible à l'eau, il peut se produire une séparation de phase dans les mélanges essence-éthanol.

D'autres avantages d'ordre plus économique et stratégique, sont la contribution à la diminution de la dépendance aux pays producteurs de pétrole ou encore la stimulation agricole en créant des débouchés diversifiés pour les produits agricoles.

Tableau 1-8 : Comparaison des avantages et inconvénients de l'utilisation du bioéthanol en tant que carburant (Didderen et col, 2008 ; Oesling , 2001).[73]

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Diminution des émissions de dioxyde de carbone et meilleur rendement énergétique des moteurs à explosion</i>	<i>Les véhicules utilisant l'E85 produisent des émissions plus élevées d'oxyde d'azote, d'éthylène et d'acétaldéhyde que les véhicules à essence</i>
<i>Indice d'octane* élevé permettant une meilleur efficacité des moteurs à explosions</i>	<i>Indice de cétane** faible ne permettant pas son utilisation dans les moteurs à combustion interne sans l'ajout d'un accélérateur d'ignition</i>
<i>Diminution des émissions de particules, de soufre, de benzène et de butadiène 1-3</i>	<i>Augmentation des émissions d'hydrocarbures par évaporation nécessitant un réglage de la pression de vapeur du carburant</i>
<i>Risque moins élevé de formation d'ozone que l'essence et le diesel</i>	<i>Emission d'acide acétique en cas de réaction entre le catalyseur et le carburant résiduel à l'échappement</i>
<i>Biodégradable</i>	<i>Corrosion des pièces en contact avec l'éthanol</i>
<i>Utilisation flexible de 0 à 100%</i>	<i>Problèmes de stabilité de phase dans le mélange d'essence en cas de présence d'eau (démiscibilité).</i>
<i>Capacité énergétique inférieure à celle de l'essence (21285 kJ.kg-1 pour l'éthanol contre 32020 kJ.kg-1 pour l'essence)</i>	<i>Augmentation de la consommation volumique de carburant</i>
<i>Diminution de la dépendance au pays producteurs de pétrole</i>	<i>Prix encore élevé</i>
<i>Stimulation du milieu rural</i>	<i>Concurrence entre alimentation et énergie</i>

Comme il est possible de le voir dans **le tableau 1-8**, un certain nombre d'inconvénients sont associés à l'utilisation du bioéthanol. Mais les industriels mettent en avant les contributions positives de ce carburant sur la qualité de l'air, la diversification de l'approvisionnement énergétique et le développement de l'économie rurale. Même s'il est vrai que l'éthanol est encore un carburant coûteux à produire, des incitations fiscales existent et les procédés sont encore améliorables. De plus, afin de diminuer les coûts de production du bioéthanol, la valorisation des différents coproduits est recherchée. Le bioéthanol pourrait donc apporter sa contribution à la diversification énergétique

dans le secteur des transports tout en permettant la diminution des émissions de gaz à effet de serre, en l'absence d'effets liés à des changements d'affectation des sols.[73]

En conclusion, le bioéthanol présente de véritables atouts, le principal étant son prix attractif dans un contexte de hausse des prix des carburants. A chacun ensuite de s'interroger sur ses habitudes de consommation et de la légitimité d'un changement sur son auto.

Chapitre 02

Matériels et méthodes d'analyse et de préparation

Chapitre2

MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE ET DE PREPARATION

2.1. Introduction

Les propriétés des produits de bioethanol préparés ont été présentés dans ce chapitre. Les paramètres de fermentation alcooliques des déchets de pomme et les techniques d'analyse et de caractérisations ont été aussi discutées.

2.2. Méthodes et matériels

2.2 .1.Appareillage

- *Montage de distillation ;*
- *Montage de titrage,*
- *pH-mètre **InoLab_7110** ;*
- *Balance analytique ;*
- *Spectrophotomètre **Visible UNICO S1100RS** ;*
- *Etuve **mommert_UN30** ;*
- *Thermomètre ;*

2.2.2. Matériel végétal

Le bioéthanol peut être produit à partir de n'importe quelle biomasse contenant des quantités significatives d'amidon ou de sucres. Actuellement, il y a une légère prédominance de la production à base de matériaux amylicés (53% du total), comme la betterave sucrière lamais, le blé et d'autres céréales et grains, etc. [50]. Dans ce travail, l'essai d'optimisation de production de l'éthanol par voie fermentaire est effectué en utilisant des déchets de pomme provenant des palmeraies de la région de kenchela. (Figure 2-1).



Figure 2-1 : Matière première utilisée pour la production du bioéthanol.

Le choix de cette variété se justifie par sa disponibilité, son abondance et sa faible valeur marchette. L'échantillon représentatif est récupéré chez les marchands de la pomme de la wilaya de Khenchela. Les déchets de fruits ont été nettoyés, coupés à l'aide de ciseaux en petits morceaux qui seront séchés à l'étuve à 40°C jusqu'à stabilité total du poids. Les pommes sont ensuite conservées à basse température (5°C), à l'abri de la lumière et de l'humidité dans un récipient hermétique et opaque.

2.2.3. Paramètres de fermentation

La température et le pH sont des paramètres importants. La température optimale pour *S. cerevisiae* est de 30–35°C [1]. Au-delà de 38°C et en dessous de 30°C, les rendements diminuent. De plus, la fermentation étant exothermique (1,2 MJ/kg d'éthanol produit [2]), la température peut devenir problématique pour les grandes installations. Par ailleurs, une température élevée augmente le caractère inhibiteur de l'éthanol [2]. *S. cerevisiae* peut fermenter à un pH de 3,5 minimum [1]. Cependant, un pH supérieur à 5 est optimal, diminuant la durée de la phase de latence et permettant un développement optimal de la levure. Ceci est d'autant plus vrai quand le milieu de fermentation contient des espèces

inhibitrices [3]. Cette situation se rencontrant pour la fabrication d'éthanol de deuxième génération, il est primordial d'utiliser des gammes de températures et de pH optimales.

2.2.3.1. Choix de la température

*Selon plusieurs études[4-8], la température optimale pour la production de l'éthanol par la levure *Saccharomyces cerevisiae* est comprise entre 25°C à 45°C. pour cela dans cette étude une température ambiante pour la fermentation des fruits de la pomme a été utilisée.*

2.2.3.2. Choix du pH

*La levure *Saccharomyces cerevisiae*, présente l'avantage de croître sur des milieux acides contrairement à la plupart des bactéries. Dans cette étude, le pH est varié entre 3 et 5 pour éviter les contaminations bactériennes. Le choix de cet intervalle est justifié par les résultats de plusieurs études [8-11].*

2.2.3.3. Milieu de fermentation

La fermentation des expériences d'optimisation ont été réalisées dans des flacons de 1 litre avec un volume de travail de 700 ml. Les autres conditions d'exploitation ont été maintenues à une température de 35 °C avec un temps d'incubation de 6 jours.

2.2.4. Caractérisation du bioéthanol obtenu par fermentation

Le présent travail expérimental a pour objectif la mise en œuvre d'un procédé de fermentation en vue de produire du bioéthanol à partir des résidus d'agriculture. Après avoir interprété et discuté les étapes antérieures à la séparation de cet alcool, il est important d'isoler le bioéthanol et de le caractériser par la mesure de certains paramètres physico-chimiques en utilisant des moyens mis à notre disposition dans notre laboratoire.

2.2.4.1. Distillation du mélange-Récupération du bioéthanol

*La teneur en alcool peut être déterminée de plusieurs façons : par pycnomètre, aérométrie, ébulliométrie, méthode enzymatiques, CPG et dosage chimique. Dans notre étude le taux d'alcool a été déterminé à l'aide d'une appareillage de distillation simple (**Figure 2-2**).*

Après 6 jours de fermentation, le produit de fermentation obtenu est distillé afin d'extraire l'éthanol. La distillation est effectuée dans un montage classique comportant un chauffe-ballon, des

colonnes de réfrigération et une ampoule de récupération de distillat (éthanol). La température de distillation est de l'ordre de 78 °C sur une solution de 700 ml



Figure 2-2: Montage de distillation du bioéthanol.

2.2.4.2. Dosage de l'acidité

La méthode utilisée est la titration avec une base forte de tous les acides organiques ; nous utilisons pour la titration, de la soude 1N avec la phénolphaléine comme indicateur coloré.

2.2.4.3. Spectrophotométrie UV-Visible

La spectrophotométrie UV-visible est une technique d'analyse quantitative qui permet de mesurer la concentration d'une solution selon le principe d'absorption de la lumière par les molécules ou les ions d'un échantillon à chaque longueur d'onde des bandes ultraviolettes et visibles du spectre électromagnétique. Cette absorption provoque une transition électronique d'un niveau d'énergie. Cette méthode a été utilisée pour comparer le spectre d'adsorption du bioéthanol préparé avec l'éthanol commercial qui trouver dans notre laboratoire.

2.2.4.4. Teste d'inflabilité

Vu les moyens d'analyses mis à notre disposition, nous nous sommes contenté de caractériser notre bioéthanol en mesurant sa pH à laide d'un ph mètre à 20 °C et son aptitude à produire une flamme.

Chapitre 03

***PRODUCTION DU BIOETHANOL A PARTIR
DES DECHETS DE LA POMME***

CHAPITRE 03**PRODUCTION DU BIOTHANOL A PARTIR DES DECHETS DE LA POMME****3.1. Propriétés Physico -Chimiques du bioéthanol**

C'est un carburant issu de matières organiques naturelles. Il appartient à la famille des énergies renouvelables. Cet éthanol d'origine végétale n'est rien d'autre que l'alcool éthylique ; il est très inflammable, volatile et est fortement utilisé dans les boissons alcoolisées, comme solvant et comme carburant [12].Le tableau 3-1 résume les principales caractéristiques physico-chimiques de bioéthanol.

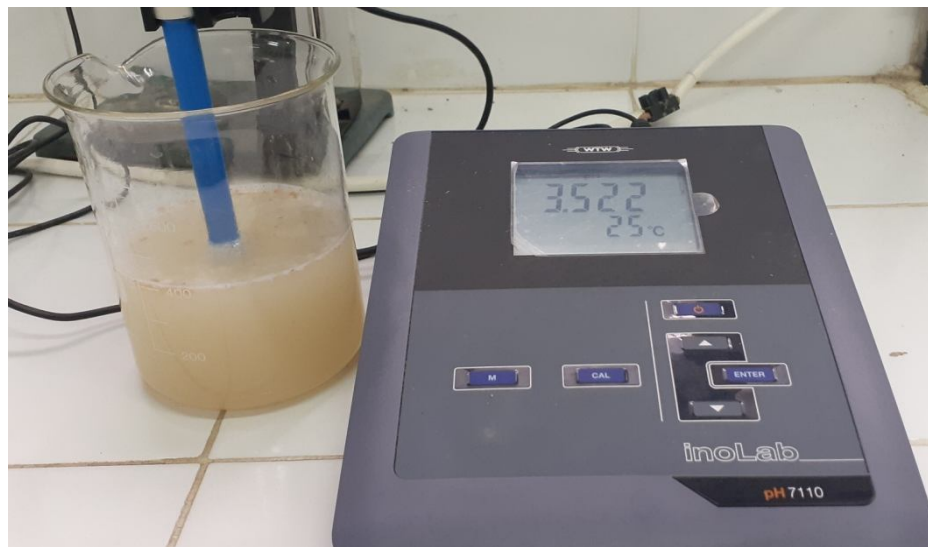
Tableau 3-1: Caractéristiques physico-chimiques du bioéthanol[13].

Paramètre	unité	bioéthanol
Formule	/	C ₂ H ₆ O
masse moléculaire	g/mol	46 ,069
Apparence	/	Liquide incolore
Densité	kg/litre	0,79
Indice d'octane (RON)	/	102-103
Indice d'octane (MON)	/	89-96
Chaleur latente de vaporisation	kJ/kg	842-930
Pression de vapeur	kPa	15-17
Température d'allumage	°C	420
Température de fusion	°C	-144,4
Température de vaporisation	°C	78,4
Point d'éclair	°C	12,8
Solubilité dans l'eau	% en volume	100

3.1.1. Potentiel d'hydrogène pH

Le pH est un bon indicateur de l'activité de la levure au cours de la fermentation..

Le potentiel d'hydrogène (pH) des déchets de la pomme varie suivant les stades de développement de la pomme. La valeur du pH température égale à 22 C° de la solution de la pomme produite après la fermentation est de 3,53 (figure III.1). Cette faible valeur du pH est due à la formation du CO₂ produit par la formation de bioéthanol [14]. La valeur du pH du bioéthanol préparé a été aussi mesurée de 3,67. Nous déduisons à partir de ces résultats que les deux solutions sont acides. D'autres sources mentionnent des valeurs supérieures à celle que nous avons obtenues dans la présente étude [15-17].



3.1.2 Acidité triturable

Les acides organiques jouent un rôle très important dans le métabolisme énergétique des micro-organismes, ils influencent aussi sur la qualité des produits affectant leur conservation [18]. Ces acides influencent aussi sur les propriétés sensorielles des fruits [19].

*Le résultat de l'acidité triturable du produit de fermentation est de 0,17 g/l. ce résultat est supérieur avec celle de **Harraket al.**[20](0.13 g/l ± 0.01). Cependant ce résultat est inférieur à celui obtenu par **Acourène et al.**[21], qui a rapporté des valeurs de l'ordre 0,19g/l à 0,2 g/l. Les résultats de dosage de bioéthanol préparé est de 66 g/l, ce résultat est en accord avec celle de la littérature.*

3.2. Rendement de production de l'éthanol

Le rendement de production de l'éthanol est calculé par la relation suivante :

$$R (\%) = 100 \times (V_o - V_f) / V_o \quad \text{tel que :}$$

R : Le rendement

V_o : volume initial de produit de fermentation (ml).

V_f : volume du bioéthanol produit (ml).

Le résultat de rendement de la production de l'éthanol par les déchets de la pomme est de 77,5 %

3.2.1. Spectres d'absorption UV du bioéthanol préparé et éthanol commercial

L'absorbance des solutions du bioéthanol préparé et de l'éthanol commercial sont déterminées à partir d'un spectrophotomètre UV visible, à une gamme spectrale 190 à 300nm.

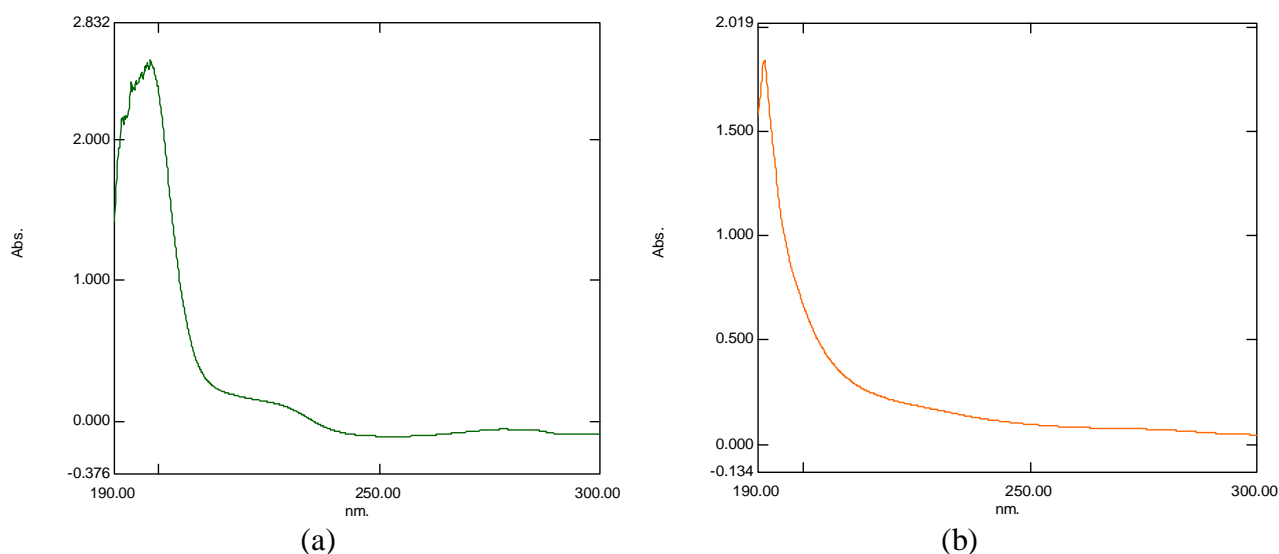


Figure 3-1 : représente les spectres d'adsorption du bioethanol préparé (a) et de l'éthanol commercial (b).

La figure (3.1) représente les spectres d'adsorption du bioéthanol préparé (a) et de l'éthanol commercial (b). D'après cette figure, on peut déterminer la longueur d'onde maximale, il s'agit habituellement de la longueur d'onde pour laquelle le produit représente un maximum d'absorption. On remarque bandes d'absorption importantes à 194,4 nm pour le bioéthanol, et 198 nm pour l'éthanol .ce résultat est en accord avec celle de la littérature.

3.2.2. Teste inflammabilité

le bioéthanol obtenu a réellement une odeur d'alcool piquante et est très inflammable **Figure 3-2** la flamme est très intense, durable et rappelle celle qu'on obtient avec de l'essence. D'autres analyses (indice d'octane, point d'inflammabilité, ...) auraient donné plus d'indications sur la qualité de cet alcool.

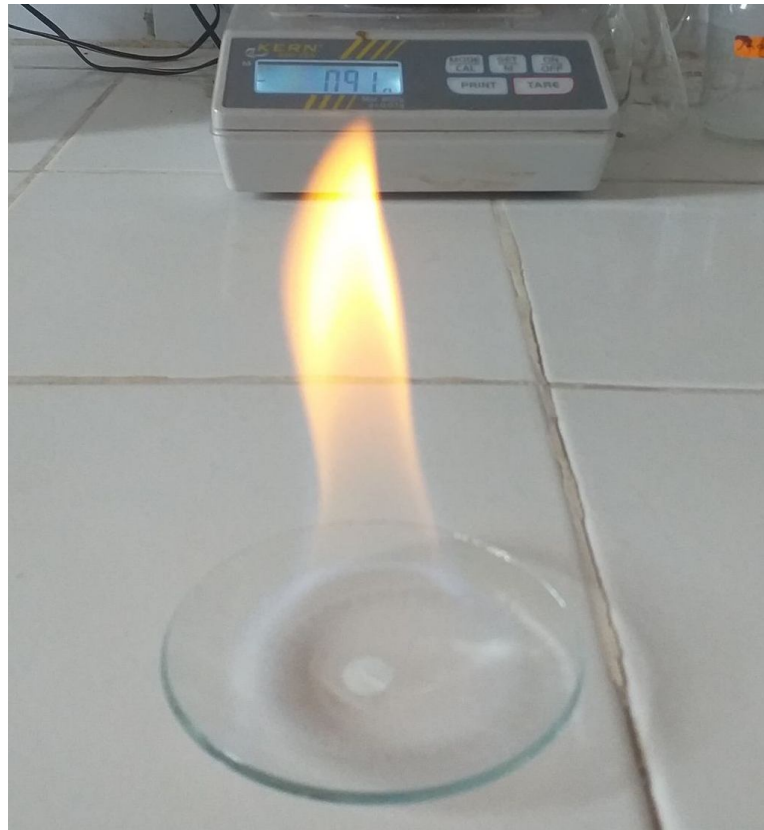


Figure 3.2 : Flamme obtenu après la combustion du bioéthanol.

3.3. Conclusion

La distillation de produit de fermentation de déchets la pomme a conduit à l'obtention d'un bioéthanol de bonne qualité (volatil, inflammable, limpide et possédant une odeur piquante) ; le pH et la longueur d'onde maximale de d'adsorption de ce bioéthanol et très proche au celle de l'éthanol commercial.

Enfin, les résidus de la pomme communes sont considérés comme une bonne matière première à partir de laquelle un très bon substrat de fermentation alcoolique peut être extrait un bioéthanol de très bonne qualité qui peut être utilisé comme un biocarburant.

Conclusion

Générale

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé au cours de ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de la production de bioéthanol à partir des déchets de la pomme. Les paramètres physicochimiques de la fermentation tels que : la température, le pH, et l'acidité titrable du produit de la fermentation ont été étudiés et discutés.

Ce travail a pour objectif l'étude en particulier de caractériser l'influence de certains paramètres tels que la masse de l'adsorbant et le pH de la solution.

A travers tous les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Le résultat de l'acidité titrable du produit de fermentation est de 17g/l

- ✓ *Le rendement de production de l'éthanol est de 77,5%*
- ✓ *les spectres d'absorption du bioéthanol préparé (a) et de l'éthanol commercial sont très proches.*
- ✓ *le bioéthanol obtenu a réellement une odeur d'alcool piquante et est très inflammable.*

On conclure que les résidus de la pomme sont considérés comme une bonne matière première pour extraire un bioéthanol de très bonne qualité qui peut être utilisé comme un biocarburant. En perspective, il sera très intéressant de :

- ✓ *Améliorer les conditions et les paramètres physico-chimiques de la fermentation afin d'obtenir une très bonne qualité et quantité du bioéthanol.*
- ✓ *Tester le bioéthanol préparé par d'autres méthodes de caractérisation comme la chromatographie.*

Annexe



Spectrophotomètre Visible UNICO S1100RS



Agitateurs magnétiques SCIOGEX MS7-H550-PRO ;



Etuvemommert_UN30



Balance analytique



-pH-mètre InoLab_7110 ;

Références Bibliographiques

- [1] F. Bai, W. Anderson, et M. Mooyoung, « Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks », *Biotechnol. Adv.*, vol. 26, no 1, p. 89-105, janv. 2008.
- [2] D. Ballerini, D. Casanave, A. Forestière, S. Lacombe, et X. Montagne, « Chapitre 2 □ : L'éthanol et l'ETBE », in *Les biocarburants*, Editions TECHNIP, 2006.
- [3] E. Albers et C. Larsson, « A comparison of stress tolerance in YPD and industrial lignocellulose-based medium among industrial and laboratory yeast strains », *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 36, no 8, p. 1085-1091, août 2009.
- [4] Jin, Y.-L., & Speers, R. A. (2000). Effect of environmental conditions on the flocculation of *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 58(3), 108-116.
- [5] Torija, M. J., Rozes, N., Poblet, M., Guillamón, J. M., & Mas, A. (2003). Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International journal of food microbiology*, 80(1), 47-53.
- [6] Mamun, A., Siddiqua, S., & Babar, S. M. E. (2013). Selection of an efficient method of biodiesel production from vegetable oil based on fuel properties. *Int J Eng Trends Technol*, 4(8), 3289-3293.
- [7] Louhichi, B., Belgaib, J., & Hajji, N. (2013). Production of bio-ethanol from three varieties of dates. *Renewable energy*, 51, 170-174.
- [8] Boudjema, K., Fazouane-Naimi, F., & Hellal, A. (2015). Optimization of the bioethanol production on sweet cheese whey by *Saccharomyces cerevisiae* DIV13-Z087C0VS using response surface methodology (RSM). *Romanian Biotechnological Letters*, 20(5), 10814-10825.
- [9] Adachi, E., Torigoe, M., Sugiyama, M., Nikawa, J.-I., & Shimizu, K. (1998). Modification of metabolic pathways of *Saccharomyces cerevisiae* by the expression of lactate dehydrogenase and deletion of pyruvate decarboxylase genes for the lactic acid

- fermentation at low pH value. *Journal of fermentation and bioengineering*, 86(3), 284-289.
- [10] Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, H. (2012). Factors affecting ethanol fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* BY4742. *Biomass and bioenergy*, 47, 395-401.
- [11] Tesfaw, A., & Assefa, F. (2014). Current trends in bioethanol production by *saccharomyces cerevisiae*: Substrate, inhibitor reduction, growth variables, coculture, and immobilization. *International Scholarly Research Notices*,
- [12] Dutriez C., watterlot F., 2014. Comparaison des procédés de production de bioéthanol à base d'amidon. Étude bibliographique, Ecole des mines Douai ,30pages.
- [13] BNDES/CGEE Coord., 2008, Bioéthanol de canne à sucre .livre énergie pour le développement durable, Rio de Janeiro, BNDES-CGEE. 1ere édition ,316 pages.
- [14] A. Mansouri, R. Rihani, A.N. Laoufi and M. Özk, 'Production of bioethanol from a mixture of agricultural feedstocks: Biofuels characterization', Fuel, Vol. 185, pp. 612- 621, 2016.
- [15] Dowson, V., & Aten, A. (1963). "Composition et maturation. Récolte et conditionnement des dattes ", Collection FAO. Rome. *Cahier*(72), 1-397.
- [16] Amellal, H. (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes: formulation d'un yaourt naturellement, sucré et aromatisé. *Boumerdes: M'hamed Bougara University*.
- [17] OULD, E. H. D. (2001). Etude comparative de la productivité d'alcool brut de dattes selon les variétés. *Recherche Agronomique*(9), 91-99.
- [18] Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(19), 7592-7599.

- [19] El Hadj, M. O., Sebihi, A., & Siboukeur, O. (2000). Qualité hygiénique et caractéristiques physico-chimiques du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla. *Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation-Biomasse*, 6.
- [20] Harrak, H., & Hamouda, A. (2005). Etude de quelques critères de qualité des principales variétés de dattes marocaines. In *Proceeding of the international symposium: sustainable agricultural development of oasian systems*, (pp. 07-10).
- [21] Acourène, S., & Tama, M. (2001). Utilisation des dattes de faible valeur marchande (Rebut de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) comme substrat pour la fabrication de la levure boulangère. *Rev. Energ. Ren.: production et valorisation-biomasse*, 1-10.
- [22] Abdedou K., Boussad S., 2014-2015. Evaluation de la gestion des déchets ménager dans la commune de Bouzeguène et implication pour la mise en oeuvre d'un mode de gestion plus durable. Thèse Master, Université Mouloud Mammerie De Tizi-Ouzou, Algérie, 3 pages
- [23] [https://www.futura-science.com/planete/Définition /Développement-durable-déchet-spéciaux-7337](https://www.futura-science.com/planete/Définition/Développement-durable-déchet-spéciaux-7337)
- [24] les déchets ménagère
<https://www.notre- plante.info/ecologie/dechet/dechet-menager.php>
- [25] <https://www.usinenouvelle.com/article/les-professionnels-des-dechets-menagers-doivent-travailler-sur-le-tri-a-la-maison.N610958> © Wikimedia/Love Food Hate Waste NZ/CC LE 14/11/2017
- [26] <https://mainsvertes.org/2019/03/19/tout-savoir-sur-les-dechets-en-algerie-partie-1/>
- [27] [https://www.sindra.org/glossary/déchet-des-activités-économique#:text =les déchet des activités économique .pdf.2013](https://www.sindra.org/glossary/déchet-des-activités-économique#:text=les+déchet+des+activités+économique)
- [28] déchet d'activité économique (DAE)-définition-
<https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire-environnement-dae.php4>
- [29] [https://www.futura-science.com/planete/définition/développement-durable-déchet spéciaux-7337/](https://www.futura-science.com/planete/définition/développement-durable-déchet-spéciaux-7337/)
- [30] « Déchets industriels banals, dangereux et spéciaux (DIB-DID-DIS) » [archive], sur www.sirmet.fr (consulté le 20 février 2017)
- [31] ↑ « Déchet Ménager Spécial (DMS) - Définition » [archive], sur www.dictionnaire-

environnement.com (consulté le 20 février 2017)

[32]↑ « Déchet dangereux des ménages (DDM) - Définition » [archive], sur www.dictionnaire-environnement.com (consulté le 20 février 2017)

[33] Déchets dangereux et ADR Déchets et ADR [archive]

[34]

1. « Annexe III de la directive n°2008/98/CE du 19/11/08 relative aux déchets et abrogeant certaines directives » [archive], sur www.ineris.fr (consulté le 23 janvier 2017)
2. ↑ « Classification des déchets dangereux : harmonisation avec le règlement CLP » [archive], sur www.red-on-line.fr (consulté le 25 janvier 2017)
3. ↑ « La nouvelle liste européenne des déchets dangereux » [archive], sur www.actu-environnement.com (consulté le 25 janvier 2017)

[35] « Gérer ses déchets dangereux : les fiches pratiques par type de déchets » [archive], sur [www.entreprises.cci-paris-](http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr)

[idf.fr](http://www.entreprises.cci-paris-idf.fr) (consulté le 24 janvier 2017)

[36,37]

1. « Le cadre réglementaire applicable aux déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) » [archive], sur www.entreprises.cci-paris-idf.fr (consulté le 25 janvier 2017)

2.↑ « Classification et typologie des déchets dangereux » [archive], sur www.fnade.org (consulté le 25 janvier 2017)

[38,39]

1.« Le cadre réglementaire applicable aux déchets contenant de l'amiante » [archive], sur www.entreprises.cci-paris-idf.fr (consulté le 25 janvier 2017)

2.↑ « Fiche technique - Déchets amiantés - Septembre 2016 » [archive], sur www.ademe.fr (consulté le 25 janvier 2017)

[40] ↑ L'incinération des déchets [archive] sur zerowastefrance.org

[41] « Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives » [archive], sur eur-lex.europa.eu (consulté le 14 juin 2016)

[42] <https://www.somme.gouv.fr/layout/set/print/Politiques-publiques/Environnement/Dechets/Les-differents-types-de-dechets>

le 27/11/2018

[43] <https://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/dechets-non-dangereux-inertes-r1291.html>

[44] « Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées » [archive], sur www.legifrance.gouv.fr (consulté le 17 janvier 2017)

[45] <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/types-dechets/dossier/dechets-non-dangereux/dechets-non-dangereux-non-inertes#>

18/07/2018

[46] <https://owl-ge.ch/travaux-d-eleves/article/impact-de-la-production-des-dechets-sur-l-environnement>

[47] principaux facteurs environnementaux de risque sur la santé-France assos- santé-
<https://www.france-assos-sante-org/2013/10/15/en-infographie/>

[48] Collection sur les statistiques de l'environnement, ONS, 2012 (disponible sur le site de l'ONS : www.ons.dz)

[49] Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie 2014, Agence nationale des déchets (disponible sur le site de l'AND : <https://and.dz>)

[50]

[52] Volle F., Les biocarburants

http://www.iutsd.univparis13.friutsd/images/Developpement_durable/F-VOLLEBiocarburants
le11/04/2017

[53] Dutriez C., Watterlot F., 2014. Comparaison des procédés de production de bioéthanol à base d'amidon. Étude bibliographique, Ecole des mines Douai, 30pages.

[54] Polleau J., 2002. Caractérisation des biogaz. INERIS DRC-02-27158-AIRE-n°316bJPo, 31pages

[55] Lorne D., 2011. Le point sur les biocarburants progression des marchés nationaux et internationaux. IFPEN.

[56] Paillet F., Taillades G., 2013. Les biocarburants, recherche scientifique. Université Montpellier 2, France, 18pages.

[57] www.lewpedagogique.com

25/04/2017

[58] Bayrakci A., Kaçar G., 2014. Second-generation of bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir. Study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n° 30, 306-316 pages.

- [59] BNDES/CGEE Coord., 2008, Bioéthanol de canne à sucre .livre énergie pour le développement durable, Rio de Janeiro, BNDES-CGEE. 1ere édition ,316 pages.
- [60] Akbi A, 2016. Le potentiel algérien en bio énergies. Revues des Energies Renouvelables,n014, 120-122.
- [61] Saidi A., 2011. La biomasse lignocellulosique et la bioénergie. Bio énergie et environnement, no21, pages 4-5.
- [62] www.breuilletnature.blogspot.com 24/04/2017
- [63] Barchmann H., le potentiel de la biomasse dans les pays méditerranéens. www.europarl.europa.eu/.../pdf/energie_draft_report_biomasse_plus_amendments_fr. 24/04/2017
- [64] principes et enjeux de la pyrolyse et de la gazification de la biomasse anthony-dufour.html [https://doc player.fr/9709252-principe- enjeux-de-la-pyrolyse et la gazéification de biomasse](https://doc.player.fr/9709252-principe-enjeux-de-la-pyrolyse-et-la-gazification-de-biomasse)
- [65] [Faradji née Kherbouche Djamila] « Mémoire de doctorat -Contribution à la valorisation énergétique de labiomasse .11/07/2011 ».
- [66] Mauviel G., Dufour A., Lédé J., 2009. Procédés de gazéification et de pyrolyse de la biomasse. Revue conversation thermochimique de la biomasse, Nancy 5.France
- [67] Naik S., Vaibhav V., Goud, Prasant K., Rout, Ajay K., 2015. Production of first and second generation biofuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n014 pages 578-592.
- [68] Marie-claire Frederic, *Ni cru ni cuit. Histoire et civilisation de l'aliment fermenté*, Paris, Alma Editeur, 2014, 360 p. (ISBN 978-2-36279-107-9)
- (en) Sandor Ellix Katz, *The Art of Fermentation : An In-Depth Exploration of Essential Concepts and Processes from around the World*, Chelsea Green Publishing, 2012, 528 p.
- [69] <http://pe-alcoolemie.e-monsite.com/pages/i-qu-est-ce-que-l-alcool/3-comment-produire-de-l-alcool.html>
- [70] N. Sarkar, S.K. Ghosh, S. Bannerjee and K. Aikat, 'Bioéthanol Production from Agricultural Waste: An Overview', Renewable Energy, Vol. 37, N°1, pp. 19 – 27, 2012.
- [71] D. Ballerini, N. Alazard-Toux et O. Appert, 'Les Biocarburants: Etats des Lieux,

Perspectives et Enjeux du Développement', Edition Technip, 348 p., 2006.

[72] M. Balat, 'Production of Bioethanol from Lignocellulosic Materials via the Biochemical Pathway: A Review', Energy Conversion and Management, Vol. 52, N°2, pp. 858 – 875, 2010.

[73] Didden I., Destain J. et Thonart P., 2008, Le bioéthanol de seconde génération, Les presses agronomiques de Gembloux

Résumé

Le bioéthanol est une alternative très attractive aux énergies conventionnelles. La production du bioéthanol dans le monde a fortement augmenté depuis la crise du pétrole en 1970. L'éthanol peut être produit par la fermentation de plusieurs substrats.

Notre travail a pour objectif de production du bioéthanol par fermentation des déchets organiques. Les résidus de la pomme sont utilisés comme matière.

La fermentation des déchets la pomme a été réalisée en fonction de choix de quelques paramètres comme le pH, la température, et le temps de fermentation.

L'éthanol a été récupéré par distillation permettant de produire 66 g/l d'éthanol.

Les résultats démontrent que les déchets de la pomme, a un grand potentiel pour la production de l'éthanol.

Abstract

Bioéthanol is a very attractive alternative to conventional energies. The production of bioethanol in the world has increased sharply since the oil crisis in 1970. Ethanol can be produced by the fermentation of several substrates. Our work aims to produce bioethanol by fermentation of organic waste. lesrisidus of the apple are used as material. The fermentation of the apple waste was carried out according to the choice of a few parameters such as pH, temperature, and fermentation time. The ethanol was recovered by distillation to produce 66 g / l of ethanol. The results show that apple waste has great potential for the production of ethanol.

ملخص

الايثانول الحيوي هو بديل جذاب للغاية للطاقت التقليدية. ازداد إنتاج الايثانول الحيوي في العالم زيادة حادة منذ أزمة النفط في عام 1970 و يمكن إنتاج الايثانول عن طريق تخمير العديد من الركائز .

يهدف عملنا إلى إنتاج الايثانول الحيوي عن طريق تخمير النفايات العضوية .

يتم استخدام بقايا التفاح كمادة

تم إجراء تخمير نفايات التفاح وفقا لاختيار عدد قليل من المعايير مثل درجة الحموضة ، درجة الحرارة و وقت التخمير

تمت استعادة الايثانول بواسطة التقطير لإنتاج 66 غرام /لتر من الايثانول

تظهر النتائج إن نفايات التفاح لديها إمكانيات كبيرة في إنتاج الايثانول