

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR - KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE
Département de Génie industrielle



جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم : الهندسة الصناعية

Mémoire de Master

No. Réf. :/...../2021

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

Réalisé par :

M. Aghougali Ihab
M. Drouai Ramzi

Thème

Production de bioéthanol à partir des déchets organiques: élaboration du procédé

Soutenu le/07/2021 devant la commission d'examen composée de :

Dr.	MECHERI Nassira	Président
Pr.	BENOUNIS Messaoud	Directeur du Mémoire
Dr.	TOUATI Amina	Co-encadreur
Dr.	DJEFFAL Khaled	Examineur

Dédicaces

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

À celui qui m'a fait de moi un homme, mon père.

À mes chers frères et sœurs et toute la famille Aghougali.

À ma chère fiancée et sa famille.

À tous mes amis sans exception.

À toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Remerciements

En premier, nous remercions le tout puissant ALLAH, notre créateur qui nous a donné la force d'accomplir ce travail.

*Nous tenons à remercier vivement, le chargé du suivi de ce travail, **Pr. Messaoud Benounis**, pour ses encouragements, ses conseils précieux et sa disponibilité.*

*Nous remercions chaleureusement **Mr. Laanani Abderrahime** chef du département de Génie industriel.*

*Nous tenons à remercier **Dr. Touati Amina** pour les efforts considérables déployés pour nous aider ainsi que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

Nous présentons nos chaleureux remerciements aux enseignants du département de génie des procédés pour leurs aides et orientations durant ma formation en particulier.

Nous remercions nos familles pour le soutien et l'encouragement pendant ces années.

Et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Chapitre 01</i> :.....	2
GENERALITE SUR LES DECHETS ET L'ENERGIES RENOUVELABLE.....	2
1.1. Définition des déchets :	2
1.2. Les caractéristiques des déchets :	3
1.2.1. Analyses physiques :	3
1.2.2. Analyses physico-chimiques :	3
1.3. Classification des déchets :	5
1.3.1. Les déchets ménagers et assimilés (DMA) :	6
1.3.2. Les déchets des collectivités locales :	8
1.3.3. Les déchets industriels :	8
1.3.4. Les déchets inertes (DI).....	8
1.3.5. Les déchets fermentescibles :	9
1.3.6. Déchets ultimes :	9
1.4. Les risques liés aux déchets :	9
1.5. Généralité sur la gestion des déchets en Algérie :	11
1.5.1. Les déchets ménagers et assimilés :	11
1.5.2. Les déchets industriels :	12
1.6. Energie renouvelable :	13
1.6.1. Généralités sur les énergies renouvelables :	13
1.6.2. Développement des énergies renouvelables :	14
1.6.3. Énergies renouvelables et déchets :	18
1.7. Bioéthanol :	20
1.7.1. Définition :	20
1.7.2. Les générations de bioéthanol :	20
1.7.3. Domaines d'utilisation du bioéthanol :	24
1.7.4. Les avantages et les inconvénients du bioéthanol :	25
<i>Chapitre 02</i> :.....	27
MATERIELS ET METHODES EXPERIMENTALES.....	27
2.1. Généralité :	27
2.2. Matériels :	27
2.2.1. pH-mètre :	28

2.2.2. Spectrophotomètre :	30
2.2.3. Spectromètre FT IR :	31
2.2.4. Réfractomètre :	33
.2.3 Matières premières et technologies de production du bioéthanol :	36
.2.3.1 La matière première :	36
2.3.2. Le principe de fermentation :	37
2.3.3. Le principe de filtration :	39
2.3.4. Le principe de distillation :	40
2.4. Informations économiques et alimentaires :	42
<i>Chapitre 03</i> :	<i>44</i>
RESULTATS ET DISCUSSION	44
3.1. Introduction	44
3.2. Fermentation et filtration :	45
3.3. Distillation avec verrerie de laboratoire :	50
3.4. Prototype de distillateur :	51
.3.5 Étude comparative.....	Error! Bookmark not defined.
3.6. Spectrophotométrie UV :	56
3.7. Réfractométrie :	59
3.8. Spectroscopie FTIR	60
CONCLUSIONS GENERALES.....	62

Liste des figures

Figure 1: Classification des déchets.....	5
Figure 2: Composition des ordures ménagères de la commune de Constantine.....	7
Figure 3: Modes de traitement des déchets en Algérie.....	11
Figure 4: Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables	15
Figure 5: Programme algérien des énergies renouvelables : (évolution des objectifs par filière)	16
Figure 6: Classification des sources de la biomasse pour la production d'énergie	19
Figure 7: Énergies renouvelables et déchets	19
Figure 8: Procédé de production de bioéthanol.....	21
Figure 9: Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération.....	22
Figure 10: Production de bioéthanol à partir de ressources lignocellulosiques	23
Figure 11: Domaines d'utilisation du bioéthanol	25
Figure 12: pH-mètre (InoLab)	29
Figure 13: Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800).....	30
Figure 14: Spectromètre FT IR (PerkinElmer)	31
Figure 15: Réfractomètre (Zuzi)	35
Figure 16: La Pomme sur laquelle nous avons fait l'expérience	36
Figure 17: La Pêche sur laquelle nous avons fait l'expérience	37
Figure 18: Equation de fermentation et de production d'éthanol.....	38
Figure 19: Processus de filtrage (les grosses particules de la suspension sont retenues par les pores du filtre)	39
Figure 20: Schéma du processus de distillation simple	41
Figure 21 : Le bouchon du jerrycan attaché au tube	45
Figure 22 : Le joint entre le tube et le bouchon	45
Figure 23: Les pommes avant de les écraser.....	46
Figure 24: les récipients de fermentation remplies et assemblées	46
Figure 25: Les bulles libérées par la levure mangeant le sucre dans le test que nous avons fait	47
Figure 26 : Processus de filtrage	48
Figure 27: Le mélange (se repose sur le tissu jusqu'à ce que presque tout le liquide soit filtré)	49
Figure 28: Le mélange est pressé à l'intérieur du tissu pour en extraire tout le liquide.....	49
Figure 29: Tout ce qui reste est le liquide.....	49
Figure 30: Distillateur	50
Figure 31: Échantillon de bioéthanol distillé	51
Figure 32: Cocotte et valve de sortie de gaz	52
Figure 33: Tuyau multicouche et triple vecteur.....	52
Figure 34: Tube multicouche attaché au triple vecteur	52

Figure 35: Prototype de distillateur	53
Figure 36: Récipient de récupération de bioéthanol.....	54
Figure 37: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de pomme	55
Figure 38: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de pêche.....	55
Figure 39: Graph UV visible d'extraits de pommes.....	56
Figure 40: Graph UV visible d'extraits de pêche	57
Figure 41: Graph UV visible d'éthanol commercial et d'extraits de pêche et pomme	57
Figure 42: Courbe graphique d'absorbance UV visible (pêche + pomme)	58
Figure 43: Graph de réfractométrie.....	59
Figure 44: Spectre infrarouge (Pêche) dans la gamme 400-4000 cm^{-1}	60
Figure 45: Spectre infrarouge (Pomme) dans la gamme 400-4000 cm^{-1}	61
Figure 46: Spectre infrarouge (Pomme) dans la gamme 400-4000 cm^{-1}	61

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition des ordures ménagères dans la commune de Constantine	6
Tableau 2: Projection de la production des ordures ménagères 2005-2024 dans la commune de Constantine	7
Tableau 3: Projection de la production des déchets inertes dans la commune de Constantine 2005-2024 (t/j).....	9
Tableau 4: Les capacités cumulées du programme EnR sur la période 2015 – 2030	18
Tableau 5: Le bioéthanol de première génération.....	22
Tableau 6: le bioéthanol de deuxième génération.....	23
Tableau 7: Le bioéthanol de troisième génération	24
Tableau 8: Avantages et les inconvénients du bioéthanol	26
Tableau 9: Matériels et appareils utilisés pour l'élaboration du procédé de production du bioéthanol	28
Tableau 10: Quelques valeurs d'indice de réfraction de liquide et solide.....	35
Tableau 11: Conditions de croissance de la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	39
Tableau 12: Valeur de la Production Agricole en Algérie concernant les Pommes et les Pêches.....	43
Tableau 13: Paramètres de fermentation.....	48
Tableau 14: Paramètres de distillation avec verrerie de laboratoire	50
Tableau 15: Paramètres de distillation avec le prototype.....	54
Tableau 16: Résultats de réfractométrie d'extrait.....	59

INTRODUCTION GENERALE

L'activité de notre société actuelle entraîne une consommation colossale des énergies fossiles, par conséquent ces ressources énergétiques doivent être adéquatement gérées afin d'assurer une part de ces richesses pour les générations futures.

L'éthanol biologique est conçu pour être utilisé comme un substituant des sources d'énergie fossiles (gaz, essence et diesel). Il pourrait être utilisé également comme une source pour la production de l'éthylène, éthyle, acrylate, et l'acétaldéhyde.

En outre, et avec la conscience environnementale universelle, l'éthanol est considéré très ami avec l'environnement puisque sa combustion ne contribue pas à l'effet de serre. Cet argument est basé sur le fait le CO₂ formé durant la combustion d'éthanol est consommé par la renaissance de biomasse dans un laps de temps très convenable.

L'amidon est le composé organique d'origine végétale la plus abondante après la cellulose. Les principales sources en sont les céréales, racines et les tubercules. L'utilisation alimentaire de ces amylacés génère des résidus qui sont le siège de phénomènes de fermentations et qu'on retrouve principalement au niveau des sols des moulins (son de maïs) et des ateliers de production de Gari (résidus de manioc). Les drèches de l'industrie brassicole sont également le siège de ces fermentations. Ces déchets amylacés, aux regards des fermentations qu'ils génèrent, présentent des potentialités de valorisation non alimentaire parmi lesquelles la production de bioéthanol pourrait constituer une opportunité économique et technologique intéressante. En effet la production mondiale d'éthanol a beaucoup évolué à cause de ses nombreuses applications dans l'industrie chimique et pharmaceutique et surtout à cause de son utilisation comme carburant de substitution. L'avantage de ce type de carburant est qu'il ne contribue pas à l'accumulation des gaz à effet de serre responsable de la dégradation de la couche d'ozone. 20 milliards de litres de ce biocarburant ont été produits en l'an 2000, avec un potentiel supérieur à 100 milliards en 2010.

La production d'éthanol à partir des matières amylacées nécessite généralement trois étapes : la liquéfaction et la saccharification par les amylases commerciales, suivies de la fermentation du moût obtenu par la levure de distillerie *Saccharomyces cerevisiae*

Chapitre 01:

GENERALITE SUR LES DECHETS ET L'ENERGIES RENOUVELABLE

1.1. Définition des déchets :

Dans le secteur des déchets, le rôle des définitions (et du vocabulaire) est particulièrement critique.

Ainsi, selon la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets le déchet est défini comme étant tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer

D'après, [1] « Les termes de "bien meuble" et "abandon" font appel à des notions de droit civil appartenant à la terminologie du droit des biens. Le terme "abandon" pourrait rattacher juridiquement le déchet "bien meuble" à la catégorie des "choses sans maîtres", choses volontairement délaissées par leur propriétaire.

Cependant, la notion de détenteur et la définition de l'abandon renvoient implicitement à la responsabilité du producteur et/ou du détenteur de déchets.

Aussi, derrière tout déchet surtout générateur de nuisances, se trouve une personne physique qui le produit ou le détient et qui en est responsable jusqu'à son élimination finale. Et ce même si le déchet n'est plus physiquement entre ses mains [4].

Pour [5], le déchet est défini "comme un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou son propriétaire. Ce déficit en valeur économique tient du fait que le déchet n'est pas un produit rare, contrairement à l'air par exemple ».

Par ailleurs, pour le dictionnaire LAROUSSE, un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travail (exemple : un déchet radioactif).

1.2. Les caractéristiques des déchets :

1.2.1. Analyses physiques :

L'analyse physique des déchets permet de connaître les quantités générées (ratio individuel ou de collectivités) et d'identifier leurs différentes composantes. Comme on l'a vu plus haut, le choix du type et des détails de la caractérisation dépendent des objectifs de l'étude. On peut caractériser les déchets suivant les principales catégories et sous-catégories (fermentescibles, papier, plastiques...) ou cibler quelques-unes suivant les tailles (> 100 mm, < 100 et > 20 mm, etc.), suivant les classes (compostables, valorisables, incinérables, stockables), etc.

1.2.2. Analyses physico-chimiques :

La connaissance de la composition physico-chimique des déchets est essentielle dans la gestion et le traitement des rejets et pour prédire les risques potentiels de pollution pour l'environnement. Elle permet donc de mettre en place des procédures de contrôle et de réduction des émissions polluantes dans le milieu récepteur.

1.2.2.1. Masse volumique

La masse volumique ou *masse spécifique* est une grandeur physique qui représente la masse par unité de volume. Elle est exprimée en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (SI). Dans la littérature, la masse volumique des déchets est souvent désignée, maladroitement, par les auteurs, par *densité* qui est un nombre sans unité, égal au rapport d'une masse de substance ou matériau homogène à la masse du même volume d'eau pure à une température de 4°C environ. L'origine de cette équivoque est du fait qu'en anglais le mot *mass-density*, qui désigne la masse volumique, est souvent réduit à *density*.

La masse volumique est l'un des paramètres importants aussi bien dans le choix et la conception des moyens de transport des déchets urbain (en particulier dans les PED) que dans la stabilisation des déchets en décharge. Elle dépend de la composition des déchets et en particulier de la fraction organique avec une humidité élevée, et de la fraction des fines inférieure à 8 mm (sable et poussière) dans certains PED. En effet, la masse volumique relativement importante des déchets en Tanzanie, par exemple, est due à la teneur élevée en matière organique qui est de 78 % [6] et en Mauritanie, où cette fraction est absente dans les déchets à cause de sa valorisation au niveau ménage et ne représente que moins de 5 % [2], la masse volumique est élevée grâce à l'apport de la fraction des fines. En fonction des pays, sa valeur peut varier dans les PI de 100 à $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et de 130 à $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dans les PED [8].

Dans les décharges, après compactage des déchets, la masse volumique peut varier entre 400 et

500 kg.m⁻³ aussi bien dans les PI que dans les PED et peut atteindre 830 kg.m⁻³.

1.2.2.2. Le degré d'humidité :

Une importante teneur en eau caractérise les déchets des PED riches en MO (fruits, légumes, reste de nourriture) là où cette dernière n'est pas valorisée. Cette humidité peut dépasser 90 % avec une moyenne en général de 50 % dans ces pays (**Charnay, 2005**). Dans certains pays la MO est récupérée au niveau des ménages et valorisée comme aliment de bétail et, par conséquent, n'intègre pas le circuit municipal des déchets. L'humidité dans ce cas est très faible. Elle est de 11 % à Nouakchott en Mauritanie [7]

1.2.2.3. Le pouvoir calorifique inférieur :

Le PCI est un paramètre essentiel pour définir l'habilitation des déchets au traitement par incinération. Sa valeur diminue avec l'augmentation de la teneur en eau dans les déchets. Sans apport extérieur d'énergie, les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PCI supérieur à 1200 kcal/kg [9].

D'autre part, la valeur de ce paramètre dépend de la composition des déchets et est la somme des PCI des constituants. Les principaux constituants dont l'apport dans PCI est déterminant, sont les plastiques, le cuir et le caoutchouc, les textiles, le bois et le papier carton avec un apport de 30 ; 21 ; 18 ; 13 et 9 % respectivement. Dans la majorité des PED, le PCI est en moyenne de l'ordre de 1000 kcal/kg, ce qui fait que l'option d'incinérer les déchets n'est pas souvent le choix le plus adapté (techniquement et économiquement) pour le traitement. Dans ce cas, l'utilisation d'un comburant sera indispensable, et, par conséquent, l'incidence budgétaire sera encore plus importante. Dans de rares cas, le PCI peut atteindre 1600 voire plus de 2700 kcal/kg [3], [11], En Mauritanie, le PCI est favorisé par la faible teneur en fermentescibles et le taux important des plastiques d'environ 20 % du poids total des OM. [12]

1.2.2.4. Matière organique et carbone organique total (COT) :

La fraction des fermentescibles constitue la plus grande fraction des déchets aussi bien dans les PED que dans les PI. Elle y représente entre 55 et 35 % de la masse des déchets (Charnay, 2005). Cette fraction peut atteindre plus de 90 % de la masse des rejets dans certains PED [13], Dans la littérature en anglais, elle est désignée souvent par matières organiques à cause de sa composition importante en matières organiques que l'on peut mesurer pour évaluer notamment le potentiel organique polluant.

L'évaluation de la matière organique totale dans les déchets, par perte au feu, est importante dans le choix du mode de traitement. Ainsi, une perte au feu importante est un atout pour tout traitement par incinération, si les autres paramètres sont favorables. Elle permettant d'avoir un minimum de déchets ultimes à traiter.

La valeur de la matière organique, analysée par perte au feu, varie selon les catégories de déchets. Les plastiques en contiennent 92 %, les textiles 90 %, le bois 84 %, les putrescibles et le papier-carton 82 % on observe de très faibles taux pour les autres fractions telles que les combustibles non classés, le verre, les métaux [14], Dans certains pays où la fraction des fines est importante, on peut y trouver un taux plus ou moins important de SV dû aux déchets animaux.

1.3. Classification des déchets :

Selon (LEROY, 1997), on distingue les déchets urbains, les déchets des entreprises (appelés aussi déchets industriels), les déchets hospitaliers, les déchets agricoles et les déchets particuliers en quantité limitée, appelés autrefois DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées), désignés actuellement sous les noms de DSM (déchets spéciaux des ménages), DTQL (déchets toxiques en quantités limitées). La distinction entre ces diverses catégories fait référence aux autorités responsables de l'élimination, sauf en ce qui concerne les déchets dispersés que l'on retrouve dans toutes les catégories (Figure01) [15].

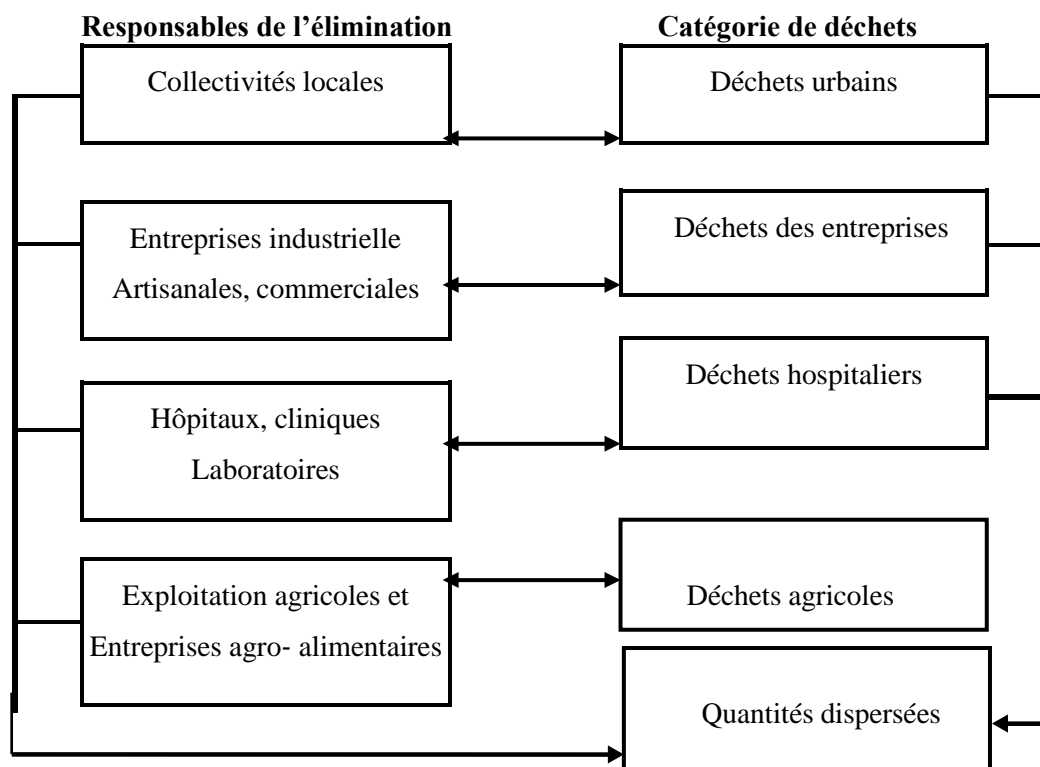


Figure 1: Classification des déchets.

D'après [17], on décline les différentes catégories des déchets en tenant compte de certains aspects des déchets :

- Caractère dangereux ou non
- Caractères physiques, chimiques et biologiques (fermentescible, inflammable,etc...)
- Secteur producteur (industrie, collectivités, particuliers)
- Composition, usage (emballage, électroménager, véhicule).

1.3.1. Les déchets ménagers et assimilés (DMA) :

Cette catégorie recouvre :

- 1-Les ordures ménagères (OM)
- 2-Les déchets municipaux (DM) ou urbains, les résidus urbains (déchets du nettoyage), (Leur traitement relève de la responsabilité des municipalités qui peuvent en déléguer la responsabilité à des sociétés ou des syndicats)
- 3-Les déchets occasionnels (déchets verts, encombrants et déchets de bricolage)

Ainsi Les ordures ménagères dans la commune de Constantine (**Tableu02**), présentent les caractéristiques suivantes [16] :

- La présence importante de la matière organique (71%) dans les différents quartiers qui s'explique par la forte concentration des habitations dans des agglomérations caractérisées par une forte densité de la population, évaluée à 2081 hab./Km² [16].
- La quantité significative de la matière plastique (12.5%).

Tableau 1: Composition des ordures ménagères dans la commune de Constantine

Composant	% en poids
Matière organique	70
Matière plastique	13
Carton et papier	11
Verre	02
Métaux	03
Chiffons et autres	01
Total	100

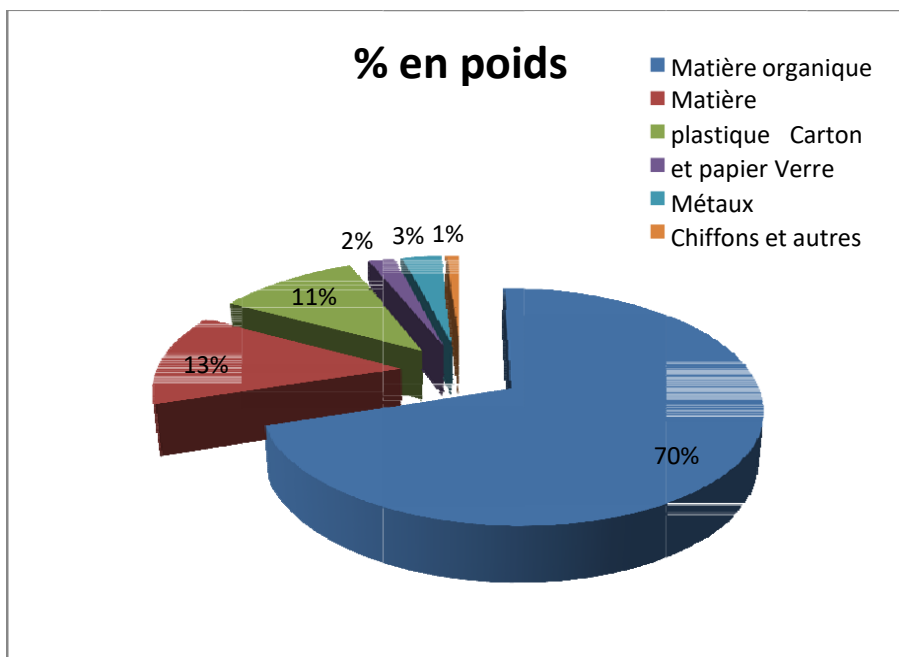


Figure 2: Composition des ordures ménagères de la commune de Constantine

Tableau 2: Projection de la production des ordures ménagères 2005-2024 dans la commune de Constantine

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Quantité (tonnes / jours)	346	355	364	374	384	393	404	414	425	436	447	459	471	483	496	509	522	535	549	564

1.3.2. Les déchets des collectivités locales :

Les collectivités locales produisent annuellement 22.5 Mt de boues de station d'épuration, de matières de vidange, de déchets d'espaces verts, de résidus du nettoyage des rues et de papiers divers des locaux administratifs.

1.3.3. Les déchets industriels :

On distingue :

- ❖ **Les déchets industriels toxiques** : devant être traités avec de multiples précautions.
- ❖ **Les déchets industriels banals (DIB) ou déchets non dangereux** : ils sont issus d'activités commerciales, artisanales, industrielles ou de service. Ils regroupent principalement les plastiques, les papiers cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et matières organiques.
- ❖ **Les déchets industriels spéciaux (DIS)** : Ils regroupent les déchets dangereux autres que les déchets dangereux des ménages et les déchets d'activité de soins à risque infectieux.

1.3.4. Les déchets inertes (DI)

Les déchets inertes ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de nuire à la santé humaine.

A l'instar des autres villes algériennes, Constantine connaît le problème des dépôts anarchiques de déchets inertes provenant des chantiers de BTPH et de particuliers qui réfectionnent leurs maisons. Ces déchets inertes composés essentiellement de gravats, décombres, déblais et autres rebuts de démolition et de chantiers. Les moyens de quantification n'étant pas connus en Algérie, la seule référence c'est les rares hypothèses émises par des chercheurs dans le domaine du bâtiment. Ces hypothèses font état d'une production moyenne équivalente à 20% de la quantité des ordures ménagères (selon les résultats d'un projet de recherche du centre national d'étude et de recherche intégrée du bâtiment-CNERIB-). Ainsi, on peut conclure pour le cas de Constantine que le tonnage des déchets inertes est important aux vues des multiples dépotoirs de gravats recensés à travers la quasi-totalité des terrains vagues et certains accotements des routes de la ville [15].

Si l'on tenait compte d'une production de 20% de ce type de déchets par rapport aux ordures

ménagères, le tonnage journalier prévisible serait le suivant :

Tableau 3: Projection de la production des déchets inertes dans la commune de Constantine 2005-2024

(t/j)

2005	2006	2007	2008	2009
69	71	73	75	77
2010	2011	2012	2013	2014
79	81	83	85	87
2015	2016	2017	2018	2019
89	92	94	97	99
2020	2021	2022	2023	2024
102	104	107	110	113

1.3.5. Les déchets fermentescibles :

Ils sont de matières organiques biodégradables : tonte de gazon, épluchures de fruits, déchets de viande, de charcuterie, les papiers et cartons, le bois et les textiles naturels. Les matières plastiques, bien que se décomposant à long terme, en sont exclus [17].

1.3.6. Déchets ultimes :

Les opérations de traitement produisent de nouveaux déchets : les déchets des déchets en quelque sorte. Ceux-ci seront traités et fournissent encore des déchets. Il arrive un moment où l'opération ne devient plus rentable et l'on obtient ainsi le déchet ultime.

1.4. Les risques liés aux déchets :

A l'origine, ils préviennent de la consommation domestique, de l'activité professionnelle ou de la production agricole et industrielle, les déchets sont à la fois un risque et une ressource. Eliminés sans précautions, ils risquent non seulement de dégrader les paysages, mais aussi de polluer l'environnement et d'exposer l'homme à des nuisances et des dangers dont certains peuvent être très graves [18].

Selon leurs propriétés, les déchets présentent un risque pour la santé. Selon [15] les déchets peuvent présenter plusieurs dangers. Ils sont qualifiés de dangereux quand ils peuvent porter

une atteinte directe à la santé de l'homme du fait qu'ils possèdent une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : irritants, nocifs, toxiques, cancérigènes, infectieux, inflammables, mutagènes...etc. [18].

Selon [17], Les déchets fermentescibles constituent des pathogènes peuvent proliférer et se fixer sur les déchets, en particulier la matière finement divisée comme les poussières, c'est dans cet état que ces déchets pénètrent dans les unités de traitement, leur manipulation génère des émissions de micro-organismes dans les atmosphères de travail.

La pollution d'une rivière par un rejet inconsidéré de déchets est bien connue parce que ses conséquences apparaissent sans tarder ; mort des poissons, eutrophisation qui se manifeste par une prolifération des algues liée à l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs. La pollution des eaux de mer par le déversement de déchets est moins visible [18].

Bien plus insidieuse est la dégradation de la qualité des eaux souterraines due à l'infiltration qui contribuent à l'alimentation en eau destinée à la boisson. En fait l'eau est le principal vecteur de la pollution générée par les déchets abandonnées ou éliminés dans des conditions écologiques peu satisfaisantes [18].

Certains déchets sont susceptibles de polluer directement l'air si au contact de l'air ou de l'eau ou d'un acide, ils dégagent un gaz toxique. Mais ils peuvent aussi participer indirectement à la pollution atmosphérique lorsque leur traitement par incinération est réalisé dans des conditions mauvaises [18].

Alors que la pollution des sols est la moins visible des pollutions ; elle frappe avec retard. Un site pollué est un site dont le sol ou les eaux souterraines ont été pollués par d'anciens dépôts de déchets ou l'infiltration de substances polluantes, la pollution étant susceptible de provoquer une nuisance ou un risque permanent pour les personnes ou l'environnement [18].

Les déchets des ménages vont encore alimenter les dépôts sauvages, ainsi que les décharges brutes établies et exploitées sans autorisation administrative avec l'accord du propriétaire du terrain, ces lieux sont la source de nuisances esthétiques et visuelles, et participent à la dégradation de nos paysages, avec toutes les conséquences que cela peut entraîner au niveau du tourisme et de la mise en valeur du patrimoine.

Cependant les atteintes à la propreté des villes restent perçues de manière très aigüe par les habitants. En fait, la population, malgré un comportement parfois négligent tient à la propreté des rues et des espaces publics et se montre reconnaissante des efforts réalisés dans ce domaine par la commune.

La production de déchets pose de sérieux problèmes d'élimination compte tenu des quantités en cause et de la toxicité de certains d'entre eux, source de risque pour l'environnement et pour les individus, elle s'accompagne aussi d'un gaspillage important de matière de devises, d'énergie et de possibilité d'emploi [18].

1.5. Généralité sur la gestion des déchets en Algérie :

1.5.1. 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 [19].

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. [20].

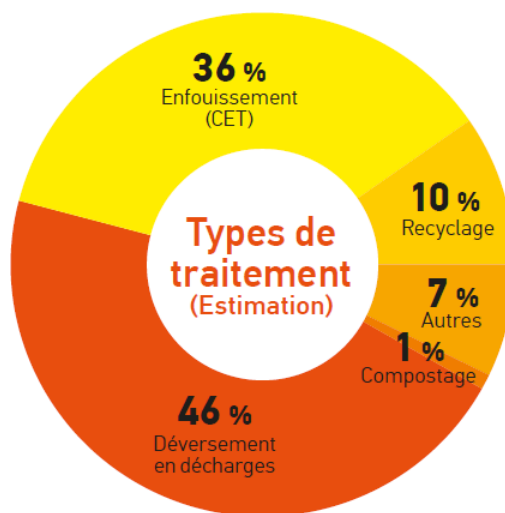


Figure 3: Modes de traitement des déchets en Algérie

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 (**Figure 03**) [21].

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.

1.5.2. 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 process
- ❖ 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 [21], 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 œuvre 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'industriede transformation liée est présenté dans le chapitre suivant.

1.6. Energie renouvelable :

1.6.1. Généralités sur les énergies renouvelables :

L'énergie renouvelable (EnR) est une énergie obtenue à partir de ressources renouvelables, elle est définie comme une énergie exploitée par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. [22].

Il existe plusieurs formes d'énergie renouvelables, dérivées directement ou indirectement du soleil ou de la chaleur produite au plus profond de la Terre, notamment l'énergie générée par le soleil, le vent, la biomasse et la biomasse solide, la chaleur terrestre, l'eau des fleuves, des lacs, des mers et des océans, le biogaz et les biocarburants liquides.

1.6.2. Développement des énergies renouvelables :

1.6.2.1. Le cadre général :

Depuis 1990, les sources d'énergie renouvelable dans le monde ont progressé à un rythme annuel moyen de 1,7 %, soit légèrement plus que le rythme de croissance de la production totale d'énergie primaire. Cette croissance a été particulièrement marquée pour les « nouvelles » énergies renouvelables (éolienne, solaire), lesquelles ont progressé en moyenne de 19 % par an. Les énergies renouvelables se développent intensément partout dans le monde, portées par la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Selon l'agence internationale de l'énergie (IEA), 13,8 % d'énergie a été produite à partir de ressources renouvelables en 2014 [23].

En 2015, un nouveau record a été établi pour l'investissement dans le domaine des énergies renouvelables avec l'adhésion des pays en voie de développement. Tout cela s'est produit dans une année où les prix des combustibles fossiles ont chuté, causant de la détresse à de nombreuses entreprises impliquées dans le secteur des hydrocarbures. Jusqu'à présent, les moteurs de l'investissement dans les énergies renouvelables, y compris les politiques relatives aux changements climatiques et l'amélioration de la compétitivité des coûts, ont été plus que suffisants pour permettre aux énergies renouvelables de continuer à accroître leur part de la production mondiale d'électricité au détriment des sources émettrices de carbone [24].

Cette tendance a été maintenue en 2016 propulsée par la poursuite de prix bas des combustibles fossiles et la baisse considérable des prix de plusieurs technologies des énergies renouvelables. Les capacités des énergies renouvelables sont installées, en majorité, dans les pays en voie de développement, notamment en Chine qui est le plus grand développeur d'énergie renouvelable au cours des huit dernières années. En 2016, les énergies renouvelables se propagent à un nombre croissant d'économies en développement et émergentes, dont certaines sont devenues des marchés importants.

La politique gouvernementale à tous les niveaux est restée importante pour le développement des énergies renouvelables. L'accord de Paris de 2015 concernant le Convention-cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) est entré en vigueur à la 22ème Conférence des Parties (COP22) en novembre 2016. Toutefois, les marchés des énergies renouvelables ont été affectés uniquement indirectement au cours de l'année. Un certain nombre de gouvernements ont mis en place de nouveaux objectifs en matière d'énergies renouvelables et plusieurs villes ont établi de nouveaux engagements en faveur d'une énergie 100 % renouvelable [25].

1.6.2.2. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie, à l'instar d'autres pays producteurs de pétrole et de gaz conventionnels commence à

réaliser l'importance du développement des énergies renouvelables afin de limiter la dépendance de l'économie nationale et de protéger l'environnement. Un programme de développement des énergies renouvelables a été initié en 2014 afin de mettre en valeur les ressources renouvelables dont l'Algérie dispose en grande capacité et s'engageant, ainsi dans une nouvelle ère énergétique durable.

À la faveur de ce nouveau programme, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique se placent au cœur des politiques énergétique et économique menées par l'Algérie. Ainsi d'ici 2030, 37 % de la capacité installée et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable. La répartition de ce programme par filière technologique est présentée dans la (**Figure 04**) suivante :

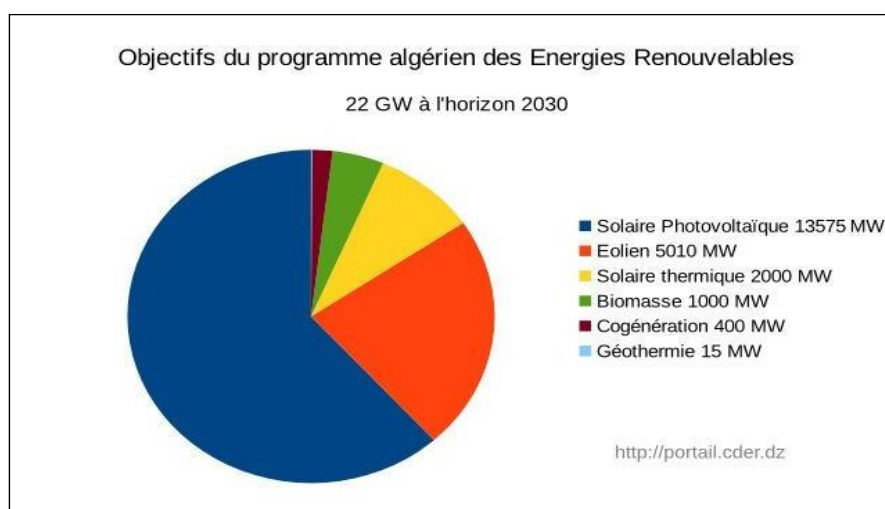


Figure 4: Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité et 37 % de la capacité installée. Le volume de gaz naturel épargné par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalent à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014. Le programme de développement des énergies renouvelables se présente comme suit (**Figure 05**) :

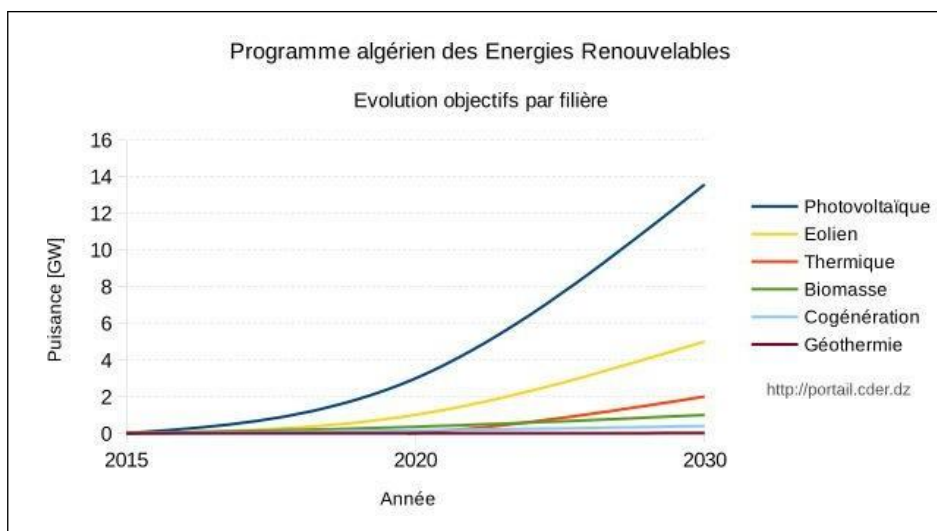


Figure 5: Programme algérien des énergies renouvelables : (évolution des objectifs par filière)

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.

Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets en biomasse, en géothermie et en cogénération.

a. Potentiel Solaire :

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud (TAMENRASSET).

b. Potentiel Éolien :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifié. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes :

Le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud- Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El-Bayad (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).

c. Potentiel de l'Énergie Géothermique :

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100 m

- ❖ Zone de Relizane et Mascara ;
- ❖ Zone de Aïne Boucif et Sidi Aïssa ;
- ❖ Zone de Guelma et Djebel El Onk.

d. Potentiel Hydraulique :

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

103 Sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation.

e. Potentiel de la Biomasse :

❖ Potentiel des forêts :

En Algérie, la direction des forêts a estimé **37 Millions de TEP** (Tonnes Équivalent Pétrole). Le potentiel récupérable est de l'ordre **3,7 Millions de TEP**. Le taux de récupération actuel est de l'ordre de **10%** [26].

❖ Potentiel énergétique des déchets urbains et agricoles :

05 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1.33 millions de TEP/an [27].

L'Erreur ! **Source du renvoi introuvable.** Donne les capacités cumulées du programme EnR, par type et phase, sur la période 2015 - 2030 :

Tableau 4: Les capacités cumulées du programme EnR sur la période 2015 – 2030

	1ère phase 2015 -2020	2ème phase 2021- 2030	TOTAL
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2 000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22000

1.6.3. Énergies renouvelables et déchets :

Les déchets sont un combustible composé de matériaux divers issus des déchets de l'industrie, des administrations, des hôpitaux et des ménages, comme le caoutchouc, le plastique, les déchets de combustibles fossiles et d'autres produits semblables. Ils sont soit solides soit liquides, renouvelables ou non renouvelables, biodégradables ou non biodégradables.

La biomasse solide (essentiellement le bois de chauffage utilisé pour cuisiner dans les pays en développement) est de loin la principale source d'énergie renouvelable. Elle représente plus de 10% de la production totale d'énergie primaire de la planète et les trois quarts de l'offre mondiale d'énergies renouvelables.

L'ensemble de la biomasse peut être considérée comme source de bioénergie, ce qui permet autant d'applications énergétiques (**Figure 06**) [28].

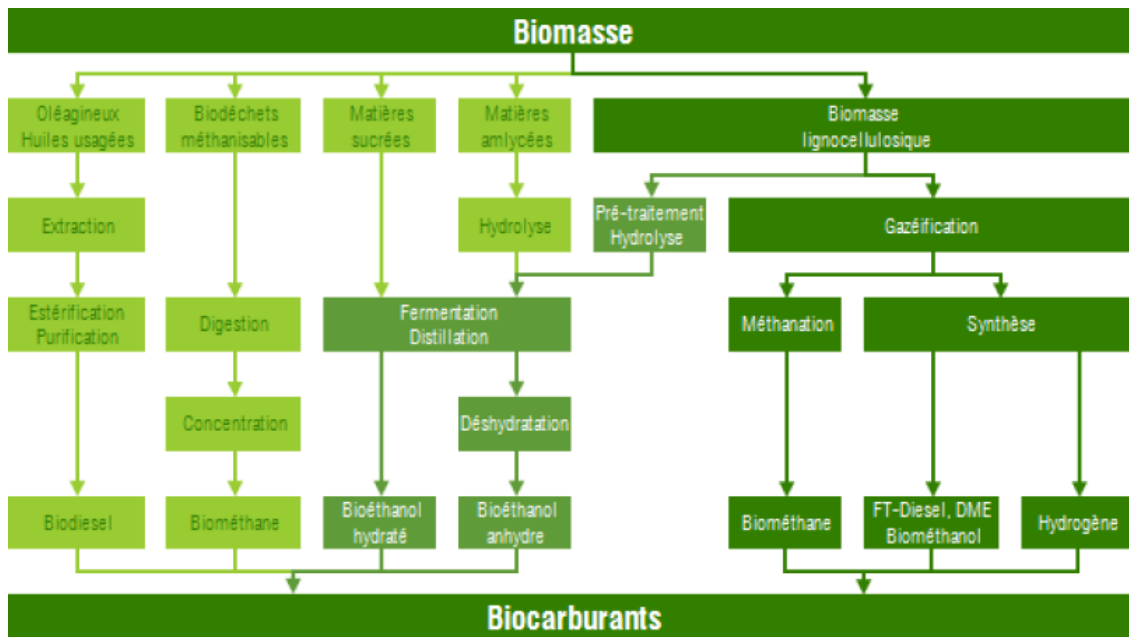


Figure 6: Classification des sources de la biomasse pour la production d'énergie

L'IEA classe les énergies renouvelables et déchets en trois grands groupes (Figure 07) :

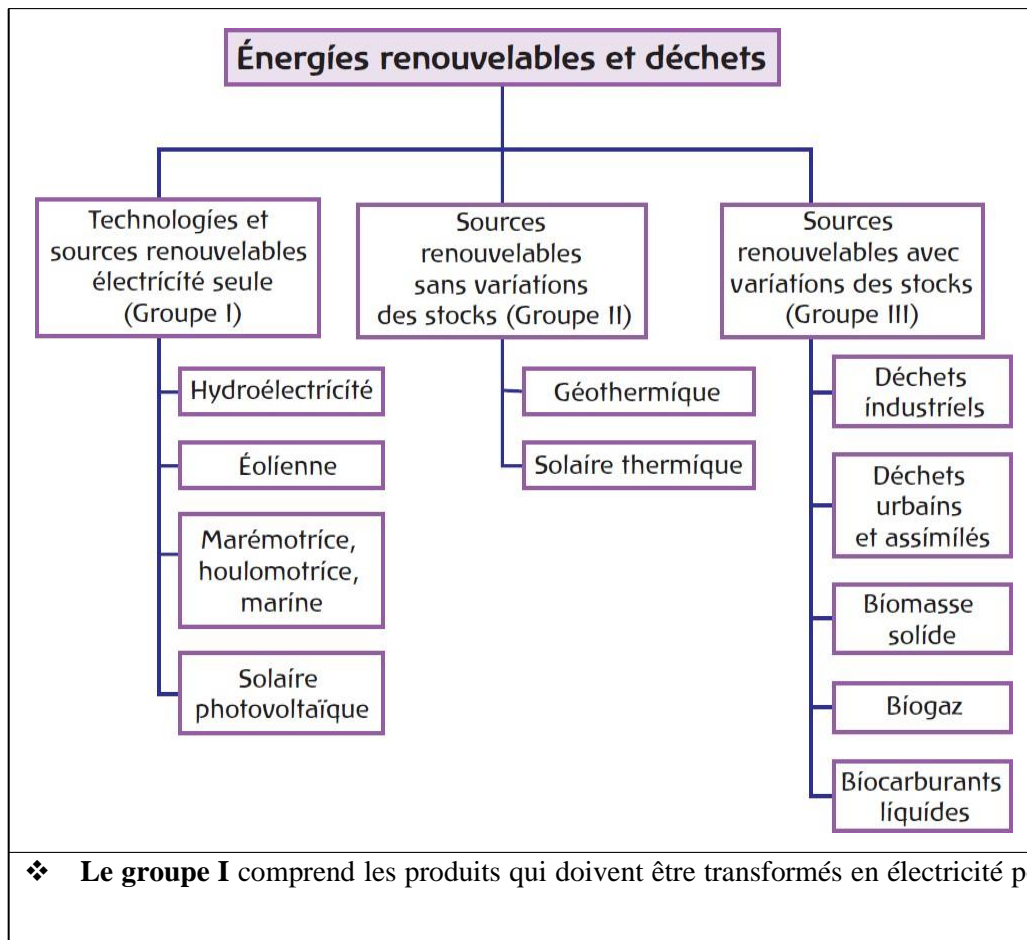


Figure 7: Énergies renouvelables et déchets

pouvoir être utilisés (tels que l'énergie hydraulique ou photovoltaïque solaire) ;

❖ **Le groupe II** comprend les produits qui sont fabriqués et consommés pour de multiples usages dans les secteurs de la transformation et de la consommation (tels que l'énergie géothermique ou solaire thermique). De par leur nature, ces produits ne peuvent pas être stockés au sens conventionnel du terme et, par conséquent, ils ne font l'objet d'aucunes statistiques sur les variations des stocks ;

❖ **Le groupe III** comprend les produits qui sont fabriqués et utilisés pour de multiples usages dans les secteurs de la transformation et de la consommation finale (les déchets, le bois de chauffage, le biogaz et les biocarburants liquides). La nature de ces produits permet de les stocker au sens conventionnel du terme. Ils peuvent donc faire l'objet de statistiques sur les variations des stocks.

1.7. Bioéthanol :

1.7.1. Définition :

Le bioéthanol ou agroéthanol est un biocarburant qui peut être utilisé dans certains moteurs à essence. Le terme bioéthanol est un amalgame entre le préfixe bio du grec bios, vie, vivant et le terme éthanol. Le préfixe bio indique que l'éthanol est produit à partir de matière organique (biomasse) et n'a aucun lien avec le terme « bio » généralement utilisé pour désigner l'agriculture biologique. Le préfixe « bio » est donc contesté dans certains pays francophones. C'est un vecteur énergétique issu de l'agriculture ou des déchets de l'industrie forestière [29] et appartenant à la famille des énergies renouvelables.

1.7.2. Les générations de bioéthanol :

La production de bioéthanol à base de biomasse est plus durable et largement distribuée. À l'heure actuelle [30], il existe trois générations de bioéthanol qui ont été fondées sur différentes matières premières comme :

-De substrats riches en saccharose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.),

-De substrats cellulosiques tels que les résidus agricoles (la paille ou les cannes de maïs), les résidus forestiers, cultures énergétiques (le panic érigé ou des arbres à courte rotation),

-Des algues.

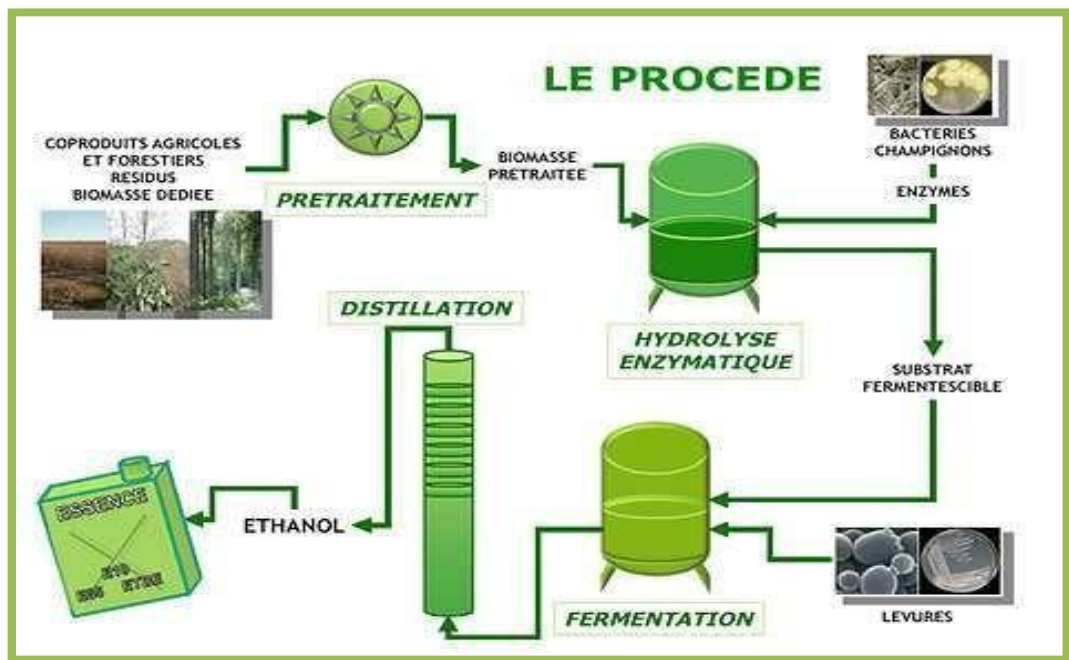


Figure 8: Procédé de production de bioéthanol

1.7.2.1. Le bioéthanol de première génération :

Le bioéthanol de première génération est obtenu par fermentation alcoolique de sucres fermentescibles (glucose, saccharose, etc.) [31]. Ces sucres sont soit directement présents dans la plante (cane à sucre, betterave sucrière), soit obtenus après hydrolyse enzymatique de l'amidon contenu dans les grains de blé ou de maïs [32].

Cependant, le principal inconvénient du bioéthanol de première génération est la menace de limitation de l'approvisionnement alimentaire qui peut affecter la population mondiale humaine car les matières premières sont dérivées de sources alimentaires. En outre, l'utilisation des ressources alimentaires pour le carburant peut entraîner une augmentation des prix des denrées alimentaires [33]. D'un autre côté, il est important de préciser que la première génération de bioéthanol est économiquement déraisonnable, car les teneurs en carbone des plantes sont principalement perdues au cours du processus de conversion [34] [39].

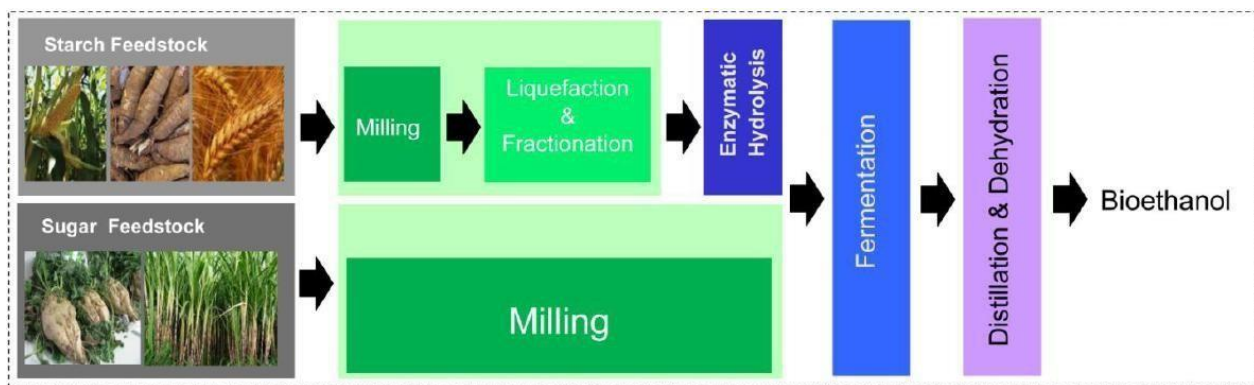


Figure 9: Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération

Tableau 5: Le bioéthanol de première génération

Génération de bioéthanol	Première génération
Source de matière première	Culture comestible (canne à sucre, maïs, betterave)
Utilisation des terres pour la culture	Croque sur les terres arables
Technologie de conversion	Extraction de sucre fermentation et distillation
Rendement en bioéthanol	Faible
Impact sur l'environnement	Faible apport à l'atténuation de CO ₂
Avantages ou inconvénients	Processus de conversion relativement simple

1.7.2.2. Le bioéthanol de deuxième génération :

Le bioéthanol de deuxième génération, également appelé « biocarburant avancé », est produit par des matières premières lignocellulosique et des résidus de forêts agricoles. Les avantages de ces matières premières sont la facilité de disponibilité. Toutefois, l'expansion industrielle du bioéthanol de deuxième génération a connu l'obstacle dû à certains problèmes technologiques [40]. Il s'agit du coût élevé et du rendement moyen du bioéthanol en raison de sa composition de lignine. D'autres problèmes principaux liés à la production de bioéthanol de deuxième génération sont l'exigence de technologies et d'installations de pointe [10].

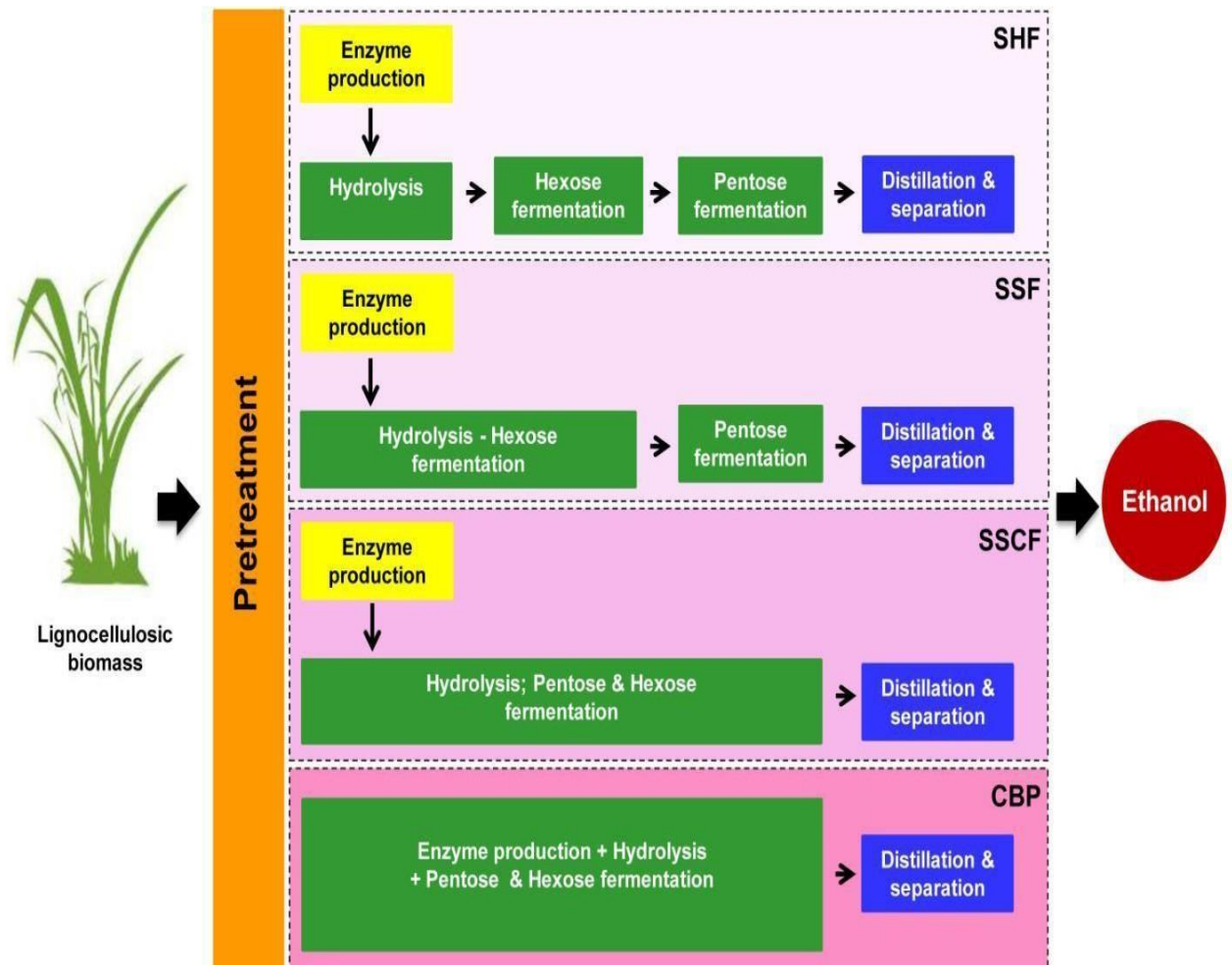


Figure 10: Production de bioéthanol à partir de ressources lignocellulosiques

Tableau 6: le bioéthanol de deuxième génération

Génération de bioéthanol	Deuxième génération
Source de matière première	Culture non comestible (résidus agricoles et forestiers)
Utilisation des terres pour la culture	Croque sur les terres arables et marginales
Technologie de conversion	Prétraitement, hydrolyse, fermentation et distillation
Rendement en bioéthanol	Moyen
Impact sur l'environnement	Contribution élevée à l'atténuation du CO2
Avantages ou inconvénients	Pas de concurrence avec la ressource alimentaire

1.7.2.3. Le bioéthanol de troisième génération :

Les algues sont considérées comme la matière première potentielle pour la production de bioéthanol de troisième génération car la biomasse peut être convertie directement en énergie. Généralement, l'utilisation de cette matière première pour la production de bioéthanol dépend de facteurs tels que la technologie et l'environnement marin [35].

Tableau 7: Le bioéthanol de troisième génération

Génération de bioéthanol	Troisième génération
Source de matière première	Biomasse algale
Utilisation des terres pour la culture	Eau de mer, eau douces et eau usées
Technologie de conversion	Distillation et fermentation
Rendement en bioéthanol	Elevé
Impact sur l'environnement	Contribution élevée à l'atténuation du CO ₂
Avantages ou inconvénients	Investissements limités et difficultés dans la conception des processus

1.7.3. Domaines d'utilisation du bioéthanol :

Le bioéthanol peut être utilisé, sous certaines conditions, comme carburant dans les moteurs à essence, soit de 5 à 20% dans les moteurs à essence sans modification et/ou de 85 à 100% dans des moteurs à essence spécifiquement adaptés. En outre, l'éthanol peut être converti en divers produits de base de l'industrie chimique tels que, l'éthylène, l'éther et l'éthyle tertio butyle (ETBE), conventionnellement, produits à partir du pétrole figI.4. Il est à signaler que le plastique résulte de la polymérisation de l'éthylène et de l'ETBE mélangé à raison de 15% à l'essence, permet d'augmenter l'indice d'octane du carburant, contrairement à l'éthanol, il ne favorise pas l'évaporation des carburants et n'absorbe pas l'humidité de l'air [37,38].

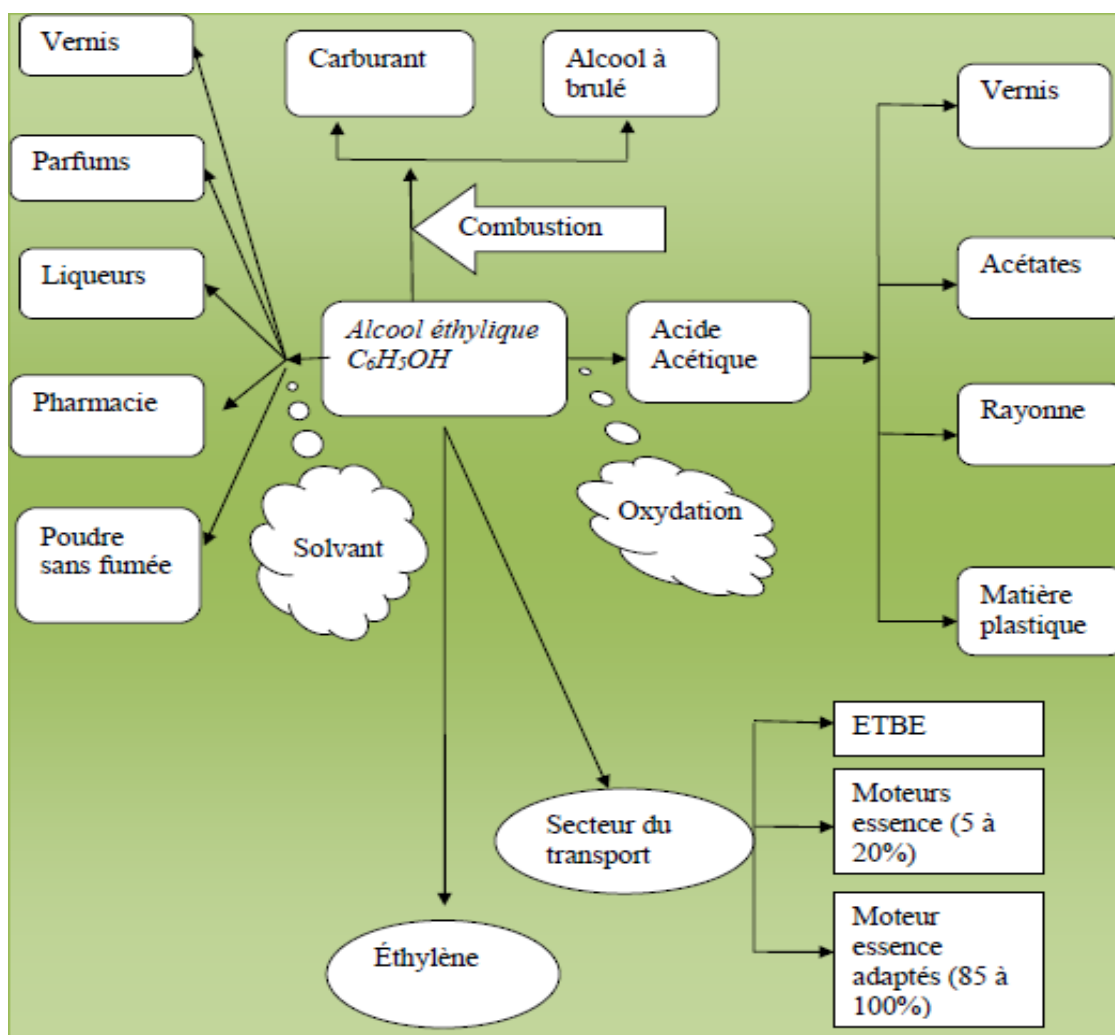


Figure 11: Domaines d'utilisation du bioéthanol

1.7.4. Les avantages et les inconvénients du bioéthanol :

Le bioéthanol présente de nombreuses dualités comme résumé dans le (Tableau 08) [36]. Sa formule chimique étant C_2H_5OH , il est qualifié de carburant oxygéné, il peut améliorer, dans le cas d'un mélange, les performances de l'essence en diminuant les problèmes de combustion à hauts régimes. 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.

Tableau 8: Avantages et les inconvénients du bioéthanol

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

- L'indice d'octane est : exprime les caractéristiques antidétonantes d'un carburant. Il correspond au pourcentage d'isooctane contenu dans un mélange d'isooctane et d'heptane normal qui lorsqu'il est utilisé pour alimenter un moteur CFR (Coopérative Fuel Research) fonctionnant dans des conditions normalisées, provoque la même intensité de détonation que l'essence testée.

- L'indice de cétane est : correspond à la capacité qu'a un carburant à s'enflammer. Il est particulièrement important pour les moteurs diesel où le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression. Un indice de cétane élevé facilite donc l'auto-combustion d'un carburant.

Chapitre 02:

MATERIELS ET METHODES EXPERIMENTALES

2.1. Généralité :

Dans un but de mettre en œuvre des manipulations en vue de produire du bioéthanol à partir de résidus d'agriculture, des méthodes expérimentales inspirées de travaux antérieurs ont été sélectionnées. Ces méthodes ont particulièrement trait à :

- La caractérisation de l'espèce de levures choisie à cet effet et la définition des conditions de croissance.
- Le choix de la matière première nécessaire à ce procédé ainsi que l'élaboration du prétraitement en vue d'extraire le jus (substrat).
- La caractérisation du substrat par la mesure de certains paramètres physico-chimiques et biochimiques dont les techniques sont succinctement exposées.
- L'élaboration du procédé de fermentation et de la méthode d'analyse mettant en évidence ce procédé.
- La distillation du vin en vue de récupérer le bioéthanol formé.
- Les techniques analytiques utilisées pour caractériser le produit désiré. Chaque méthode et technique est accompagnée de schéma et protocole explicatifs rendant la lecture aisée et la reproduction possible.

2.2. Matériels :

Dans le présent travail, nous avons utilisé divers produits : végétal, biologique et chimique. Nous avons également eu recours à des appareils. Ces produits et appareils sont cités dans le (**Tableau 5**).

Tableau 9: Matériels et appareils utilisés pour l'élaboration du procédé de production du bioéthanol

Type de matériels	Matériels
Matériels végétal	<ul style="list-style-type: none"> - Pomme algérienne de moindre qualité de la région de Bouhmama, Khenchela - Pêche algériennes de moindre qualité provenant de la région Bouhmama, Khenchela
Matériel biologique (Micro-organisme)	Levure boulangère (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)
Appareils utilisés	<ul style="list-style-type: none"> - pH-mètre - Spectrophotomètre de type Shimadzu UV 1800 - Réfractomètre ABBE 0-95% - Thermomètre - Spectromètre FT IR. - Mortier pour broyage - Moule pour pastille - Presse pour pastillage - Balance électronique - Plaque chauffante
Réactifs chimiques	- Glucose ($C_6H_{12}O_6$)

2.2.1. pH-mètre :

Le pH-mètre (**Figure 08**) est généralement constitué d'un boîtier électronique permettant l'affichage de la valeur numérique du pH et d'une sonde de pH constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence. Son fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ions H_3O^+ (définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongé dans la solution étudiée.

Celui-ci est constitué de deux électrodes, l'une standard dont le potentiel est constant et connu (appelée électrode de référence), l'autre à potentiel variable (fonction du pH, appelée électrode de verre). Ces deux électrodes peuvent être combinées ou séparées [33].

L'appareil est étalonné au moyen de deux solutions tampon (pH 4, 7 et 10 disponibles). On peut aussi (après avoir réalisé cet étalonnage) déterminer la valeur du pH par simple corrélation, la différence de potentiel évoluant proportionnellement à la valeur du pH selon la formule suivante :

$$\Delta E = a(\text{pH}_{\text{éch}} - \text{pH}_{\text{réf}}) + b$$

Avec :

- ΔE , la différence de potentiel entre les deux électrodes ;
- $\text{pH}_{\text{réf}}$, le pH de la solution à mesurer ;
- $\text{pH}_{\text{éch}}$, le pH de la solution de référence ;
- a et b , les constantes dépendant de l'appareil, elles sont révélées lors de l'étalonnage du pH-mètre.



Figure 12: pH-mètre (InoLab)

2.2.2. Spectrophotomètre :

Un spectrophotomètre est un instrument permettant de réaliser une mesure spectrophotométrique. Un spectromètre (**Figure 09**), est un appareil qui permet d'effectuer une mesure spectrométrique de l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée ou sur une région donnée du spectre [34].

Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration des substances en solution, à condition de se placer à la longueur d'onde à laquelle la substance absorbe les rayons lumineux. C'est pourquoi la longueur d'onde est réglée en fonction de la substance dont on veut connaître la concentration.

- D'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance A_λ est fonction de la concentration C de la solution, du coefficient d'absorption molaire ε_λ et de la longueur de solution à traverser L .

$$A_\lambda = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \varepsilon_\lambda \cdot \ell \cdot C$$

où $\frac{I}{I_0}$ est la transmittance de la solution.

- On remarque que A_λ et ε_λ sont fonction de la longueur d'onde de travail, elle est choisie en fonction des spectres d'absorbance.



Figure 13: Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800)

2.2.3. Spectromètre FT IR :

La spectrométrie infrarouge permet d'identifier les composés organiques et inorganiques, qu'ils soient cristallins ou amorphes. Elle saisit seulement les mouvements (vibrations) des atomes les uns par rapport aux autres.

Cette technique connaît un regain d'intérêt particulièrement avec l'apparition des spectromètres à transformée de Fourier. L'analyse des produits inorganiques peut se faire de manière très efficace, sur de faibles quantités par des micro- prélèvement (~30 mg), à condition d'avoir des produits soigneusement broyés.

L'utilisation d'un support en bromure de césium (CsBr de l'ordre de 100mg) permet d'analyser les échantillons dans l'infrarouge lointain allant de 4000 à 200cm⁻¹, mais on utilise couramment un support de bromure de potassium KBr plus abordable (sur le plan du prix) peut permettre l'analyse entre 4000 et 400cm⁻¹.

Le domaine de signature des matériaux se situe entre ~1500 et 400 cm⁻¹, cette partie du spectre FTIR est nommée fingerprint.

Cette technique d'analyse complète ainsi les informations obtenues à partir des méthodes d'analyses dites classiques telles que la diffraction des rayons X ou la microscopie électronique à balayage. La conjugaison de tous les résultats expérimentaux permet de voir, d'analyser et d'affiner au mieux la structure des matériaux. [35]



Figure 14: Spectromètre FT IR (PerkinElmer)

2.2.3.1. Mode opératoire et accessoires de spectroscopie FTIR :

- 10-100 mg d'oxydes, hydroxyde, sulfure ou carbonate sont prélevés (poudre, ou oxyde grattée).
- La poudre est mélangée (pendant au moins une minute) dans un mortier en Agathe avec ~100 mg de KBr,
- Le mélange est introduit dans le moule avant pastillage,
- Le mélange a été ensuite comprimé-pastillé dans presse hydraulique (à une pression de 10 Tonnes),
- La pastille est ensuite extraite du moule pour être placée dans un porte échantillon
- L'appareillage analyse préalablement un spectre background relatif à l'atmosphère qui régne dans la salle d'analyse,
- Une fois l'échantillon placé dans l'appareil,
- Les spectres de transmission ont été obtenus, après une 20 de secondes. Tous les spectres infrarouges sont des rapports d'absorbance ($A = - \log \left(\frac{I}{I_{\text{zéro}}} \right)$) en fonction des nombres d'ondes incidentes.



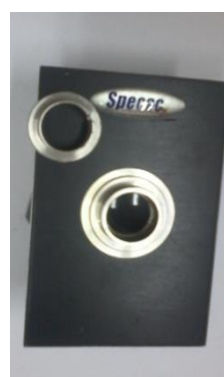
Moule pour pastille



Mortier pour broyage
Poudre+KBr



Spatule



Porte échantillon

2.2.4. Réfractomètre :

Le réfractomètre permet la mesure de l'indice de réfraction d'un milieu. Nous allons ici nous restreindre, comme c'est en général le cas en chimie organique, à la mesure de l'indice de réfraction d'un liquide. Cette détermination d'indice de réfraction peut permettre :

- D'identifier une espèce chimique et de contrôler sa pureté,
- De déterminer la composition d'un mélange (fraction molaire).

On appelle réfraction le changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu optique donné à un autre. Ce changement est dû à une modification de la vitesse de propagation à partir du point, appelé point d'incidence, où le rayon lumineux incident frappe l'interface. Par analogie, on peut apparenter le phénomène de réfraction à la chute d'un nageur dans de l'eau suite à un plongeon. En effet, lors de sa rencontre avec le plan d'eau, sa vitesse diminue brusquement.

En réalité la totalité de la lumière ne pénètre pas dans le second milieu pour être réfracté ; une fraction subit le phénomène de réflexion. On suppose qu'il n'y a pas d'absorption. Sous certaines conditions que nous préciserons dans la suite, le faisceau peut subir une réflexion totale.

On appelle dioptre l'interface entre deux milieux d'indices optiques différents. Une vitre par exemple est constituée de deux dioptres. Une lentille est aussi constituée de deux dioptres non plans limitant une partie en verre... Les lois de Snell - Descartes indiquent ce que devient un rayon lumineux lorsqu'il traverse le dioptre en question.

L'indice n d'un milieu caractérise la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu. Plus précisément, pour une onde monochromatique, de longueur d'onde λ à température et pression fixées l'indice n d'un milieu est défini par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide, notée c et celle mesurée dans ce milieu, notée v : $n = c / v$.

Pour la lumière visible et les milieux transparents, n 'est un réel supérieur à 1 et décroît avec un accroissement de la température ou lorsque la longueur d'onde augmente selon la formule empirique approchée de Cauchy :

$n(\lambda) = A + B / \lambda^2$ où A et B sont des constantes positives, spécifiques du milieu. Il s'agit en fait des premiers termes du développement limité de n en puissances paires de $1/\lambda$.

Afin de préciser la température et la longueur d'onde considérées, on fait suivre l'indice de réfraction n d'un exposant représentant la température et d'un indice indiquant la nature de la

radiation monochromatique de référence considérée. Dans la littérature, l'indice de réfraction est souvent donné à 20°C, à la longueur d'onde de référence de la raie D du sodium (589 nm), il s'écrit donc n_D^{20} .

Afin de ramener la valeur de l'indice de réfraction mesuré pour un liquide à une température T, en degré Celsius, à la valeur référencée à 20°C, on peut utiliser une relation affine valable pour de faibles écarts de température :

$$n^{20} = n^T + 0,00045*(T-20) \text{ où } T \text{ est la température exprimée en degré Celsius.}$$

L'indice de réfraction d'une solution varie également en fonction de la concentration ou de la fraction molaire des constituants de la solution. Ceci peut être mis à profit pour déterminer la composition d'un mélange. Cependant, il faut au préalable tracer une droite d'étalonnage de l'indice de réfraction en fonction de la fraction molaire.

La pression est rarement mentionnée car elle a une influence moins importante que la température sur l'indice de réfraction des liquides. En effet, une augmentation de pression d'une atmosphère (soit de $1,013 \cdot 10^5$ Pa) fait accroître l'indice de réfraction de $3 \cdot 10^{-5}$; alors qu'une augmentation de 1°C de la température fait décroître l'indice de réfraction de $4,5 \cdot 10^{-4}$. Par conséquent une faible variation de la pression atmosphérique produit un moindre changement de la valeur de l'indice de réfraction. Par ailleurs cet effet s'avère encore plus faible pour les solides.

Tableau 10: Quelques valeurs d'indice de réfraction de liquide et solide

Milieu	n_D^{20}
Eau	1,333
Acétone	1,359
Éthanol	1.361
Diamant	2,418
Sel gemme NaCl	1,544
Verres	1,5 à 2

**Figure 15: Réfractomètre (Zuzi)**

2.3. Matières premières et technologies de production du bioéthanol :

2.3.1. La matière première :

Le bioéthanol peut être produit à partir de n'importe quelle biomasse contenant des quantités significatives d'amidon ou de sucres. Actuellement.

Dans ce travail, nous avons tenté de faire des expériences avec la pomme algérienne (**Figure 08**) et les péchés (**Figure 09**) provenant du Nord-Est de l'Algérie (Bouhmama Wilaya de Khenchela).

a. Pomme :

Une grosse pomme contient 130 calories et 34 g de glucides, dont 5 g de fibres alimentaires et 25 g de sucres. Les pommes contiennent plus de glucides et de sucre que la plupart des autres fruits. La région de Bouhmama produit annuellement une quantité estimée à plus de 600 000 kilogrammes de pommes impropres à la consommation directe, dont une grande partie est transférée pour la transformation industrielle.



Figure 16: La Pomme sur laquelle nous avons fait l'expérience

b. Pêche :

Une pêche moyenne crue (147 grammes) contient 50 calories, 0,5 gramme de matières grasses, 0 gramme de cholestérol et de sodium, 15 grammes de glucides, 13 grammes de sucre, 2 grammes de fibres et 1 gramme de protéines.



Figure 17: La Pêche sur laquelle nous avons fait l'expérience

2.3.2. Le principe de fermentation :

La fermentation est une opération connue depuis les anciens temps. Elle a été utilisée par divers peuples (égyptiens, sumériens, Babyloniens, ...) pour la préparation de produits alimentaires comme le pain, les fromages, les boissons alcoolisées, etc. Actuellement, la fermentation est utilisée industriellement pour la fabrication de produits d'intérêt alimentaire (yaourts, bière), pharmaceutique (antibiotiques, vitamines, anticorps, etc.) et chimique (bioéthanol, acides gras, etc.).

La fermentation alcoolique (qui produit des alcools) consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée en vin et fait intervenir des phénomènes physiques, biochimiques et

biologiques complexes. Elle consiste en la transformation par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone. Dans une fermentation alcoolique en batch, environ 30 à 35% de la source de carbone est convertie pour produire la biomasse cellulaire tandis que 50% d'hydrates de carbone est transformée en éthanol. Le reste des sucres est utilisé pour la production de l'énergie et l'entretien des cellules. Par ailleurs, les méthodes moléculaires basées sur l'analyse de l'ADN sont maintenant utilisées pour identifier rapidement la levure jusqu'à son espèce [28].

Les fermentations sont des procédés multiphasiques. Ceci pose des contraintes biologiques et physico-chimiques. Les cellules vivantes constituent un système organisé avec des entrées de substrats, d'oxygène, de facteurs de croissance et des sorties de déchets comme le CO₂ et l'éthanol. La partie active de la matière vivante, que constituent les protéines, nécessite un environnement adéquat du point de vue du pH, de la température. Ceci permet le développement, la maintenance et la reproduction des cellules dans de bonnes conditions [29].

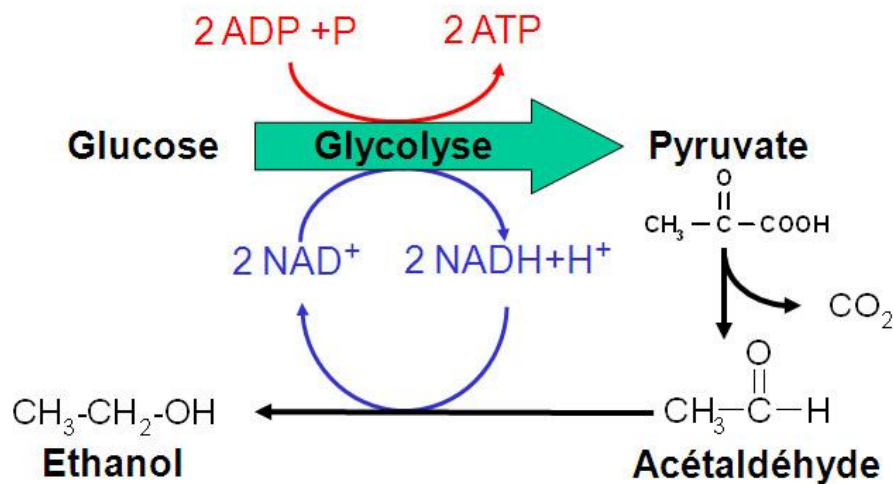


Figure 18: Equation de fermentation et de production d'éthanol

La levure varie en fonction de la température et du pH dans lesquels elle travaille, de ce qu'elle consomme et du type d'air pour ses performances optimales [30].

Tableau 11: Conditions de croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

Paramètres physicochimiques	Conditions optimales pour l'activité levurienne
Température	30 °C
pH	4,5
Type de fermentation	Anaérobie
Sucres fermentés	Glucose, saccharose
Sucres non fermentés	Lactose

2.3.3. Le principe de filtration :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommé filtrat ou perméat, tandis que la fraction retenue par le filtre est nommée résidu, rétentat ou gâteau.

La filtration peut aussi désigner le phénomène passif d'épuration naturelle ou de diminution de la turbidité qui se produit quand l'eau pénètre un lit de sable ou de sédiment pour rejoindre la nappe.

La filtration est une technique très utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire, de la chimie, de la pharmacie et par de nombreuses espèces animales, principalement aquatiques. Chez les animaux filtreurs (éponges, bivalves...), c'est un mode actif d'alimentation. Le rein assure également une fonction de filtration. [39]

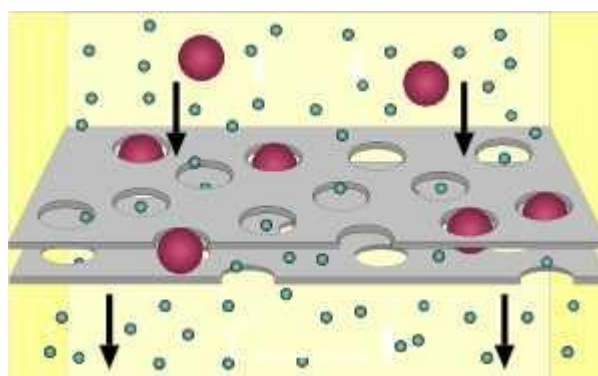


Figure 19: Processus de filtrage (les grosses particules de la suspension sont retenues par les pores du filtre)

2.3.4. Le principe de distillation :

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat. [37]

Le procédé utilise la différence de volatilité (capacité à s'évaporer selon la température) entre les constituants afin de les séparer : le composé le plus volatil s'évaporerait plus facilement et composerait la majeure partie des vapeurs. Il est ainsi possible de créer une phase gazeuse ayant une composition différente du mélange initial. Par condensation de ces vapeurs, un liquide appelé distillat peut être récupéré avec une concentration élevée du composé le plus volatil.

Le distillat n'est pas un produit pur : il contient une certaine proportion des autres composés du mélange initial. Il faut dès lors répéter l'opération d'évaporation-condensation avec le distillat afin de concentrer davantage le composé le plus volatil. Pour ne pas répéter l'opération, et séparer proprement les composants du mélange en une seule passe, on utilise une colonne de distillation et ce procédé se nomme distillation fractionnée ou rectification.

En fonction des propriétés physiques des constituants, il arrive que des composés aient des volatilités constantes par rapport au mélange initial, et que les vapeurs d'un tel mélange gardent toujours la même composition même si on répète l'opération évaporation-condensation plusieurs fois. Il s'agit d'un mélange azéotropique qui nécessite des conditions spéciales afin de séparer les composants (voir distillation azéotropique). [38]

La distillation peut être effectuée de plusieurs manières : discontinue, continue, sous vide.

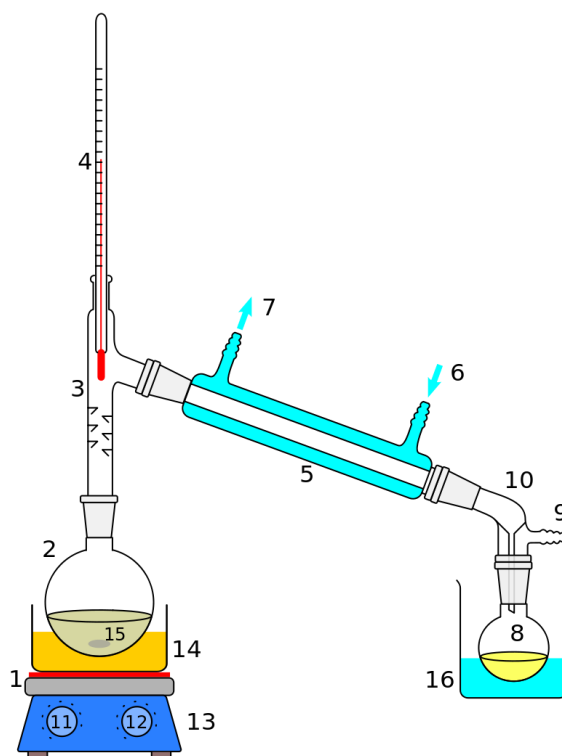


Figure 20: Schéma du processus de distillation simple

1. source de chaleur (ici, une plaque chauffante)
2. ballon à distiller
3. tête de distillation
4. thermomètre
5. réfrigérant à eau
6. entrée d'eau de refroidissement
7. sortie d'eau de refroidissement
8. ballon de réception des gouttes de distillat
9. vers une pompe à vide éventuelle
10. adaptateur pour la pompe à vide

2.4. Informations économiques et alimentaires :

La région de Bouhmama, province de Khenchela, produit des pommes comparables aux pommes des pays leaders dans ce domaine, comme les États-Unis d'Amérique. Il existe de nombreux types de pommes, dont trois sont considérées comme les meilleures et les plus importantes en le monde et le plus élevé en termes de teneur en sucre,

❖ Valeurs nutritionnelles des pommes (dans 100 grammes) [31] :

- Calories : 52
- Eau : 86 %
- Protéines : 0,3 grammes
- Glucides : 13,8 grammes
- **Sucre : 10,4 grammes**
- Fibre : 2,4 grammes
- Matières grasses : 0,2 grammes

❖ Valeurs nutritionnelles des pêches (dans 100 grammes) [31] :

- Calories : 46
- Protéines : 0,91 g de protéines
- Matière grasse : 0,27 g de matière grasse
- Glucides : 10,1 g de glucides
- **Sucre : 8,39 g de sucre**
- Fibres : 1,52 g de fibres

			2019	2019	2019
			Valeur	Unité	Description du Symbole
Algérie	Gross Production Value (constant 2014-2016 mille US\$)	Pommes	870.036	1000 US\$	Donnée calculée
Algérie	Gross Production Value (constant 2014-2016 mille US\$)	Pêches et nectarines	59.899	1000 US\$	Donnée calculée
Algérie	Produit Brut 2014-2016 (mille Int\$)	Pommes	263.769	1000 Int. \$	Donnée calculée
Algérie	Produit Brut 2014-2016 (mille Int\$)	Pêches et nectarines	123.11	1000 Int. \$	Donnée calculée
Algérie	Produit Brut 2014-2016 (mille MC)	Pommes	84.352.283,00	1000 SLC	Donnée calculée
Algérie	Produit Brut 2014-2016 (mille MC)	Pêches et nectarines	5.631.326,00	1000 SLC	Donnée calculée

Tableau 12: Valeur de la Production Agricole en Algérie concernant les Pommes et les Pêches

[32]

Chapitre 03 :

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Introduction

Ce chapitre concerne les résultats obtenus à partir des différentes analyses et expériences réalisées et il contient les paramètres de préparation des déchets, leur fermentation et les résultats que nous avons obtenus avec le matériel de laboratoire et les résultats que nous avons obtenus à l'aide d'un prototype que nous avons réalisé à partir de pièces disponibles dans chaque quincaillerie, ce prototype a la capacité d'être agrandi pour traiter plus de déchets en moins de temps.

Les points présentés ici concernent :

- Le processus de fermentation et ses paramètres (la levure utilisée, le temps de fermentation, le matériel utilisé...)
- Le procédé de distillation des deux assemblages (rendement, température, équipement, etc.)
- Analyses par spectroscopie infrarouge
- Analyses spectrophotométriques UV
- Analyses de réfractométrie
- Etude comparative des deux assemblages et des deux substrats

3.2. Fermentation et filtration :

Nous avons édité des jerricans pour la fermentation avec une vanne d'air qui laisse sortir les gaz sans laisser entrer l'oxygène afin que nous ayons un environnement anaérobie pour que la fermentation alcoolique se produise.

Les récipients sont fabriqués à partir de jerricans et les vannes d'air sont constituées de bouchons et de longs tubes en plastique reliés et soudés d'une extrémité aux bouchons et l'autre extrémité du tube est émergée dans l'eau, les figures ci-dessous montrent :



Figure 21 : Le bouchon du jerrican attaché au tube



Figure 22 : Le joint entre le tube et le bouchon



Figure 23: Les pommes avant de les écraser



Figure 24: les récipients de fermentation remplies et assemblées

Après avoir préparé les récipients de fermentation, nous avons préparé notre biomasse, nous avons écrasé les pommes et les pêches en petits morceaux afin de pouvoir les mettre dans nos récipients de fermentation.

Nous avons confirmé que notre levure est vivante, nous en avons mis un peu dans de l'eau et en ajoutant du sucre, elle a commencé à bouillonner instantanément, cela prouve qu'elle est vivante et efficace.



Figure 25: Les bulles libérées par la levure mangeant le sucre dans le test que nous avons fait

Après cela, nous avons préparé notre levure et l'avons activée en l'ajoutant à de l'eau, nous avons mis la biomasse dans le récipient de fermentation et ajouté de l'eau et celle qui contient la levure et fermé le récipient et plongé le tube dans l'eau.

Le tableau ci-dessous contient tous les paramètres et informations du processus de fermentation pour tous les échantillons :

Tableau 13: Paramètres de fermentation

	Échantillon		
	Pomme (avec levure)	Pomme (sans levure)	Pêche (avec levure)
Biomasse	7 kg	7 kg	1.5 kg
Quantité d'eau	7 litres	7 litres	1.5 litres
Quantité de levure	70 grammes	0	10 grammes
Temps de fermentation	10 jours	7 jours	5 jours
Quantité de liquide extrait après fermentation	8 litres	8 litres	2 litres
pH de liquide	4.8	4.52	5.11

Une fois le processus de fermentation terminé qui est indiqué lorsque les bulles cessent de s'élever à l'intérieur de chacune des bouteilles d'eau, nous passons à la phase de filtration où nous séparons les solides des liquides.

Les figures ci-dessous montrent comment cela se fait avec un chiffon normal :

**Figure 26 : Processus de filtrage**

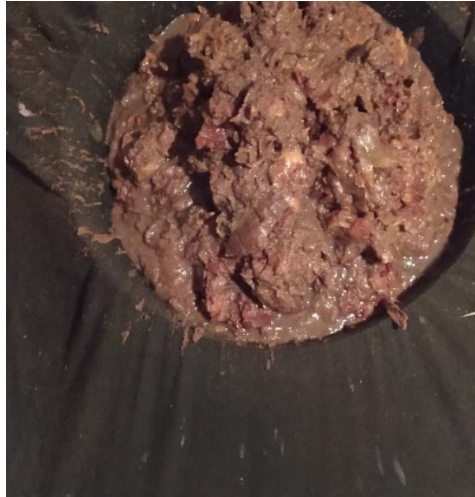


Figure 27: Le mélange (se repose sur le tissu jusqu'à ce que presque tout le liquide soit filtré)



Figure 28: Le mélange est pressé à l'intérieur du tissu pour en extraire tout le liquide



Figure 29: Tout ce qui reste est le liquide

Après avoir terminé le processus de fermentation, nous commençons immédiatement la distillation pour récupérer le bioéthanol.

3.3. Distillation avec verrerie de laboratoire :

Une installation de distillation simple est utilisée pour séparer le bioéthanol en élevant la température du liquide jusqu'au point d'ébullition de l'éthanol qui est de 78 degrés Celsius.

La figure ci-dessous montre le montage utilisé :



Figure 30: Distillateur

Tableau 14: Paramètres de distillation avec verrerie de laboratoire

Échantillon	Volume de lot	Volume de distillat	Temp pour la 1 ^{ère} goutte	Temp pour finir	Caractéristique
Pêche (avec levure)	2 litres	93 ml	24 minutes	7 hours	inflammable
Pomme (avec levure)	2 litres	122 ml	28 minutes	8 hours	inflammable
Pomme (sans levure)	2 litres	113 ml	29 minutes	8 hours	inflammable

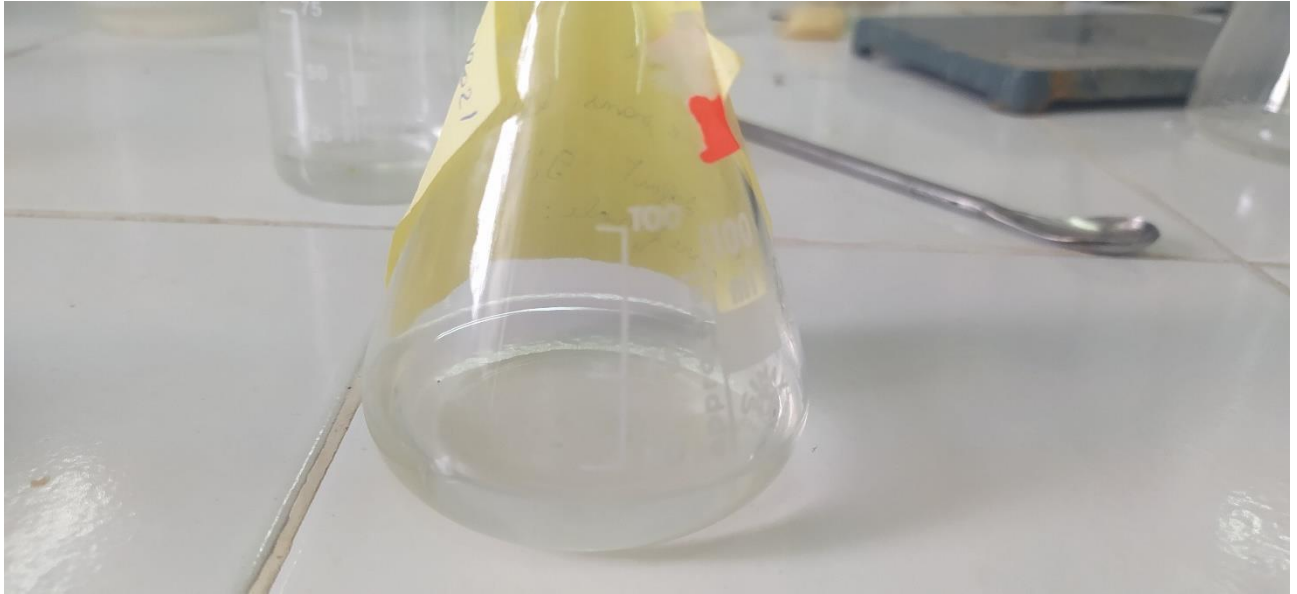


Figure 31: Échantillon de bioéthanol distillé

Après avoir obtenu le produit distillé, nous avons effectué quelques analyses et expériences sur celui-ci pour déterminer sa qualité.

3.4. Prototype de distillateur :

Ce prototype est conçu pour tester l'efficacité des distillateurs industriels mais à plus petite échelle en utilisant des articles achetés à la quincaillerie.

Les conditions que doit avoir le distillateur sont : un système de réfrigération pour condenser l'extrait, un moyen de calculer la température à l'entrée du réfrigérateur et un récipient résistant à la chaleur et à la flamme pour y faire bouillir le liquide.

Pour réaliser ce prototype nous avons choisi les équipements suivants :

- Cocotte 3 litre
- Tube à multicouches
- Triple vecteur (cuivre)
- Thermomètre
- Tube de plastic (simple)
- Bec Bensen avec support
- Récipient pour récupération



Figure 32: Cocotte et valve de sortie de gaz

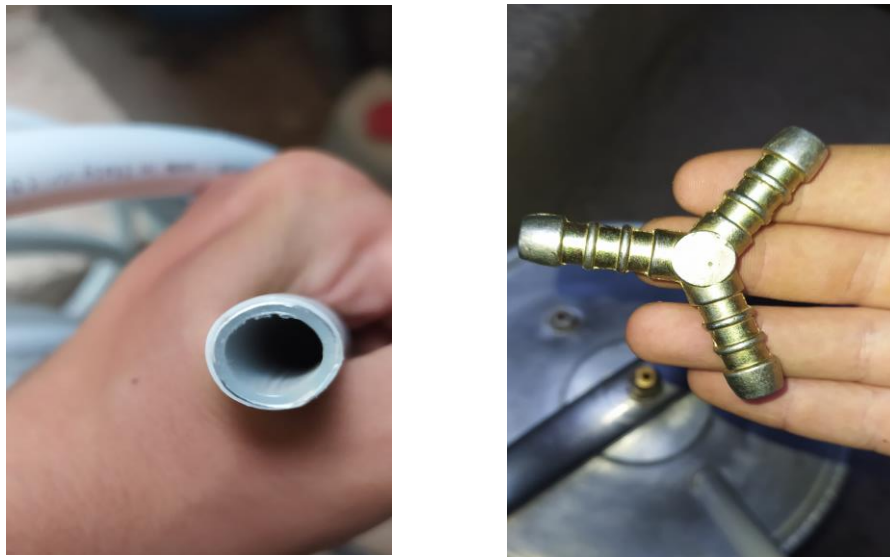


Figure 33: Tuyau multicouche et triple vecteur

on fixe le triple vecteur au tube multicouche et on s'assure de mettre un joint pour qu'aucune vapeur ne s'échappe de la trajectoire vers le réfrigérant.



Figure 34: Tube multicouche attaché au triple vecteur

on fixe l'une des autres extrémités du triple vecteur à un simple tube en plastique en forme de serpentine, le tube est émergé dans une bouteille d'eau pour réfrigération et l'extrémité de celui-ci est attachée à un récipient pour récupérer le bioéthanol.

la troisième extrémité du triple vecteur est pour le thermomètre, pour contrôler la source de flamme pour une température optimale pour ne distiller que de l'éthanol .

les images ci-dessous montrent l'ensemble du montage:



Figure 35: Prototype de distillateur

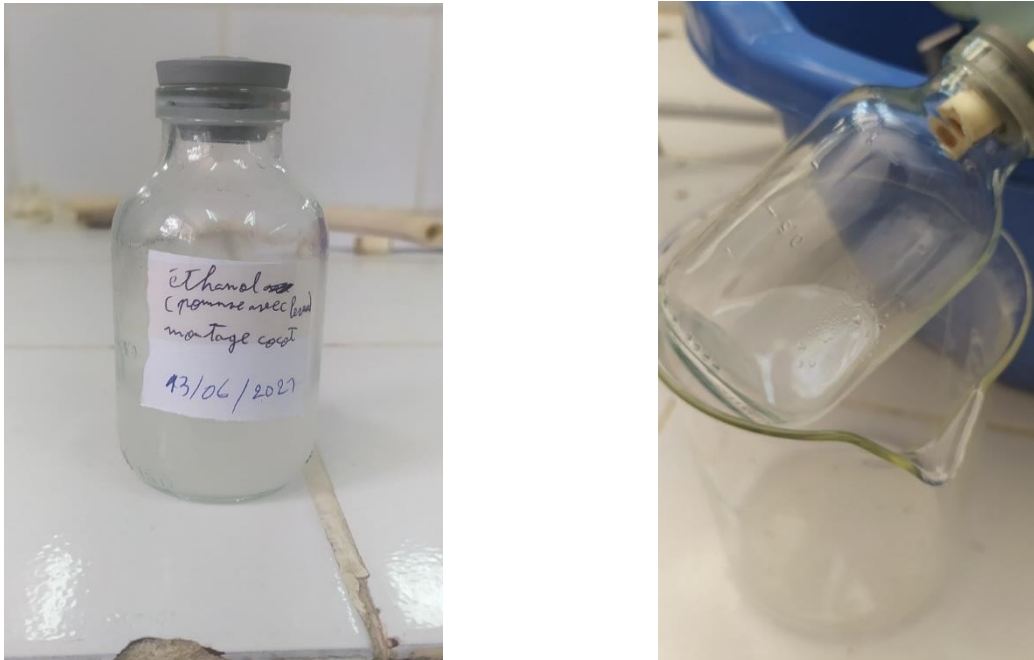


Figure 36: Réceptif de récupération de bioéthanol

Pour calculer le rendement :

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

R: Le rendement

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

V_f : volume du bioéthanol produit (ml).

Les paramètres de la distillation avec le prototype sont comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 15: Paramètres de distillation avec le prototype

Échantillon	Volume de lot	Volume de distillat	Temp pour la 1 ^{ère} goutte	Temp pour finir	Caractéristique
Pêche (avec levure)	2 litres	85 ml	12 minutes	5 hours 20 min	inflammable
Pomme (avec levure)	2 litres	104 ml	14 minutes	6 hours 20 min	inflammable
Pomme (sans levure)	2 litres	92 ml	13 minutes	6 hours 40 min	inflammable

Tous les produits mentionnés avant sont inflammables, il produit une flamme bleue, après quoi il s'expose au feu et s'enflamme complètement, la flamme s'éteint après la disparition du liquid.



Figure 37: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de pomme



Figure 38: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de pêche

3.5. Spectrophotométrie UV :

L'absorbance de chacune des solutions préparées de bioéthanol et d'éthanol commercial est déterminée à partir d'un spectrophotomètre UV visible, dans une gamme spectrale de 190 à 250 nm.

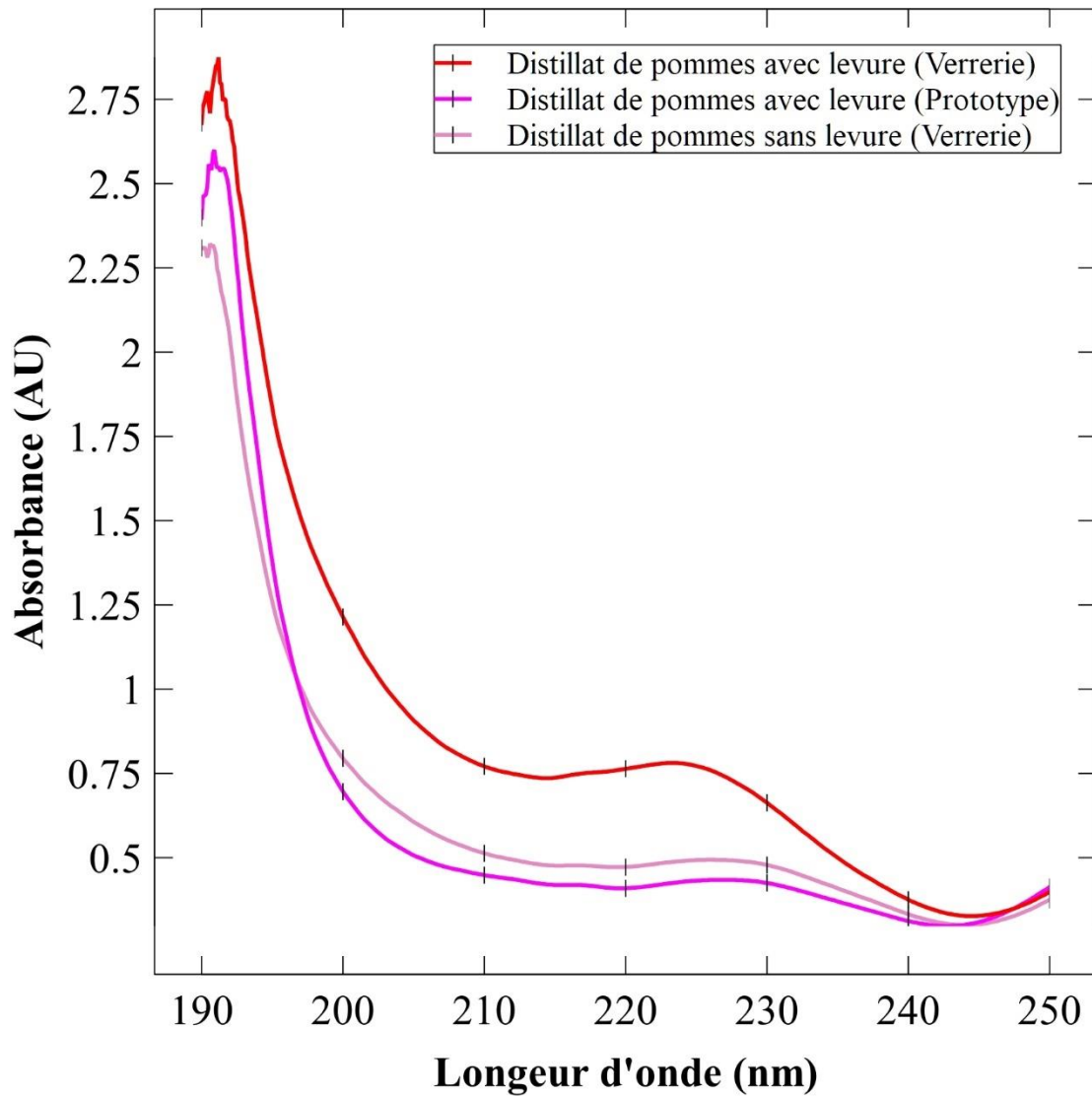


Figure 39: Graph UV visible d'extraits de pommes

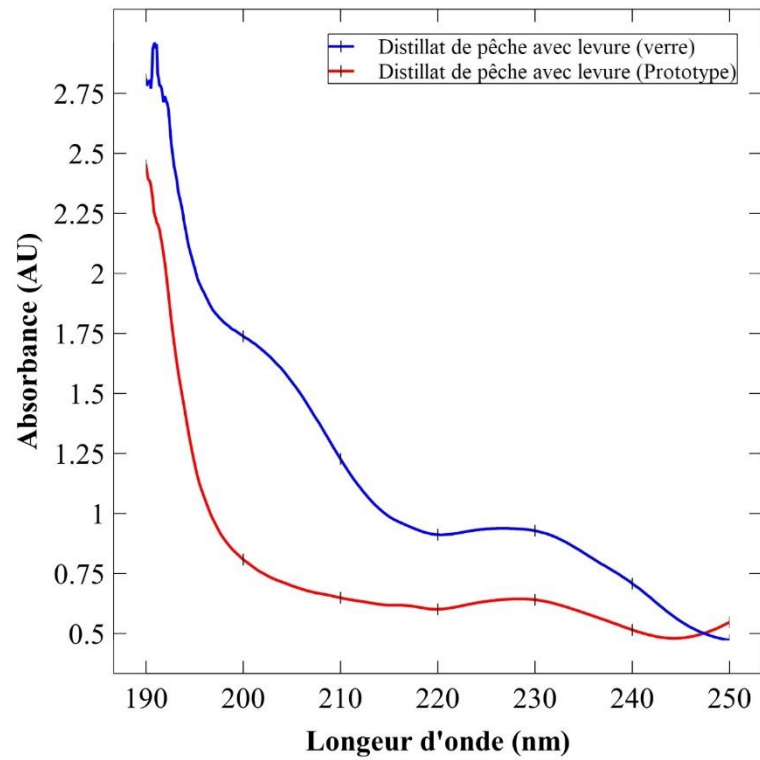


Figure 40: Graph UV visible d'extraits de pêche

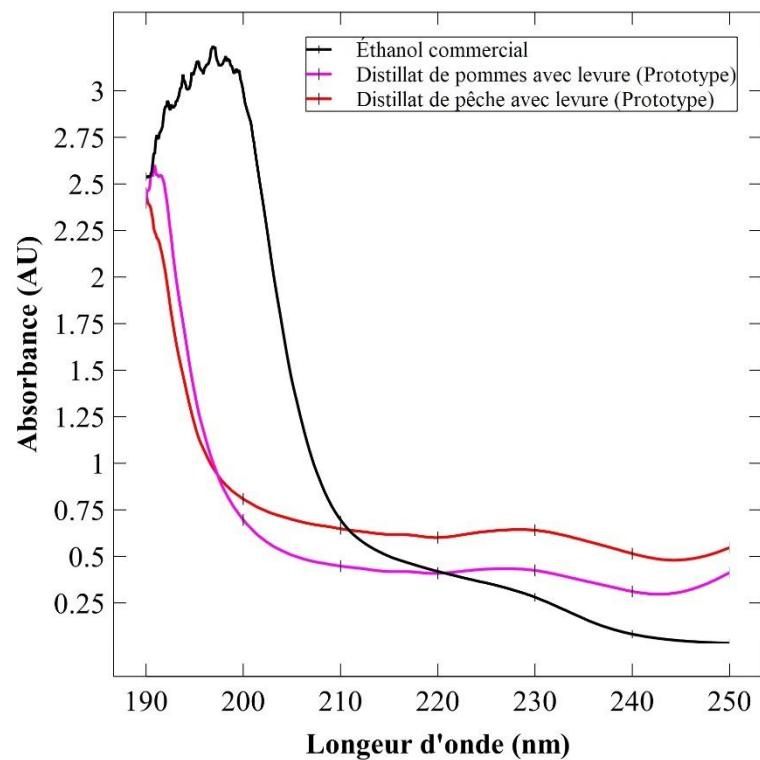


Figure 41: Graph UV visible d'éthanol commercial et d'extraits de pêche et pomme

A partir de ces figures, on peut comparer l'absorption maximale à la gamme de longueurs d'onde, il s'agit généralement de la valeur pour laquelle le produit représente un maximum d'absorption. On note des bandes d'absorption importantes à 194,4 nm pour le bioéthanol et à 198 nm pour l'éthanol commercial. Ce résultat est en accord avec celui de la littérature.

Nous avons recréé la même procédure et les mêmes analyses pour le liquide fermenté de pêches et voici les résultats trouvés :

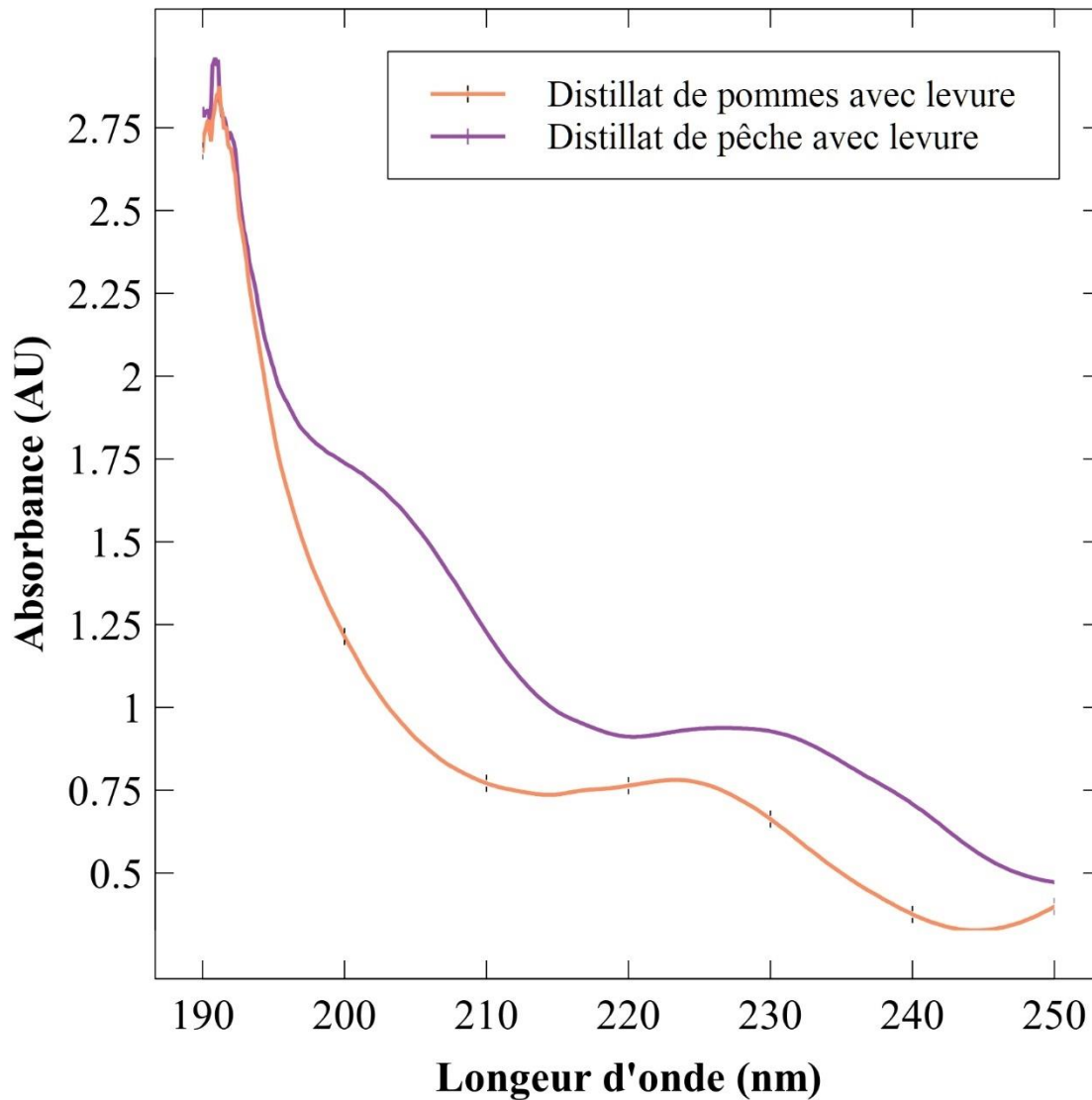


Figure 42: Courbe graphique d'absorbance UV visible (pêche + pomme)

On peut voir la similitude entre les deux graphiques d'alcool extrait de pommes et de pêches, et cela indique la continuité de l'obtention des résultats et la réussite de l'expérience.

3.6. Réfractométrie :

Après le processus de distillation, nous avons calculé l'indice de réfraction de l'éthanol extrait et de l'alcool commercial et les avons comparés dans le tableau suivant :

Tableau 16: Résultats de réfractométrie d'extrait

Pourcentage d'extrait	Indice de réfraction d'éthanol de				
	Pêche (verrerie)	Pomme (verrerie)	Pêche (prototype)	Pomme (prototype)	Commercial
100%	1.361	1.364	1.362	1.365	1.363
80%	1.357	1.359	1.360	1.361	1.367
60%	1.351	1.355	1.358	1.358	1.365
40%	1.345	1.352	1.353	1.355	1.358
20%	1.342	1.345	1.349	1.351	1.351

On note la grande convergence des valeurs d'indice de réfraction de l'extrait de pomme et de l'extrait de pêche avec l'éthanol commercial à différentes concentrations testées, ce qui indique que les extraits obtenus ont une texture et une concentration similaires très proches de celle de l'éthanol commercial pur.

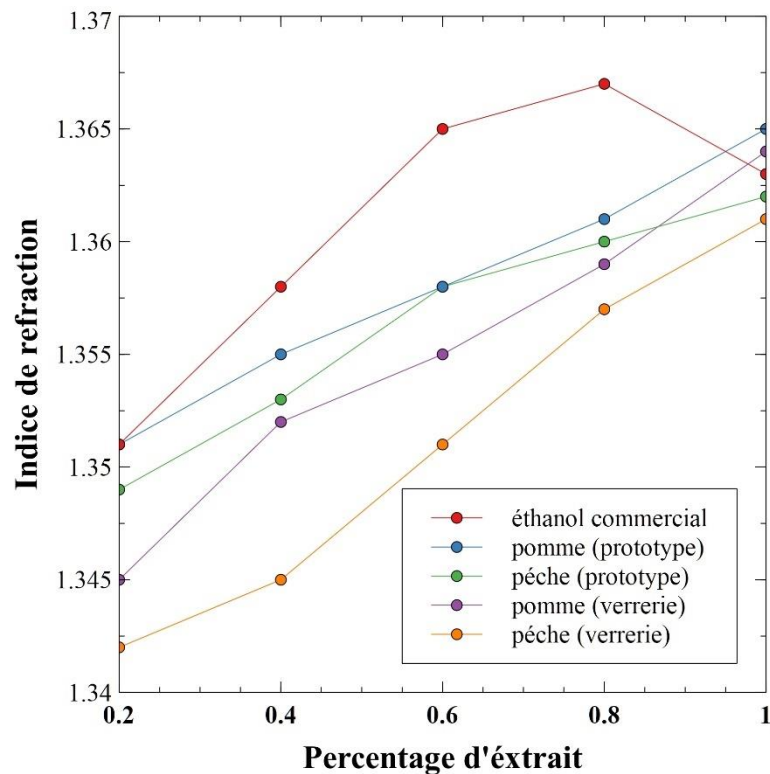


Figure 43: Graph de réfractométrie

3.7. Spectroscopie FTIR

La technique de spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est utilisée pour obtenir le spectre de transmittance dans l'infrarouge des échantillons de pêche et pomme :

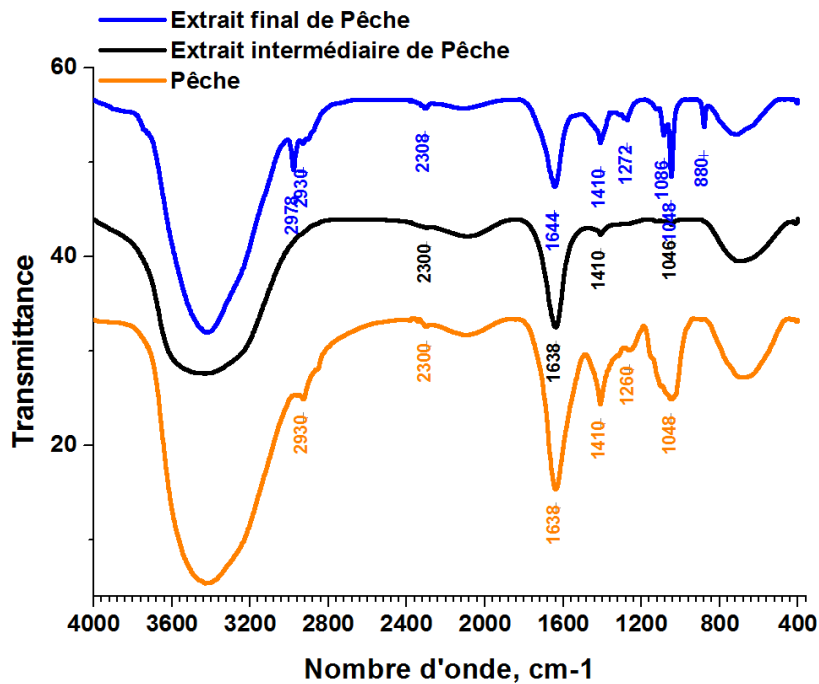


Figure 44: Spectre infrarouge (Pêche) dans la gamme 400-4000 cm⁻¹.

Selon [41] le spectre infrarouge, on peut voir les bandes d'absorption autour de 3400 cm⁻¹, qui sont associées aux modes de vibration du groupe hydroxyle (OH) caractéristiques des alcools. A 2900 m⁻¹ est l'absorption des alcanes (CH), vers 2100 cm⁻¹ est le groupe alcyne (C ≡ C), vers 1700 cm⁻¹ est l'absorption des esters et à 1650 cm⁻¹ est le groupe appartenant à la alcène (C = C).

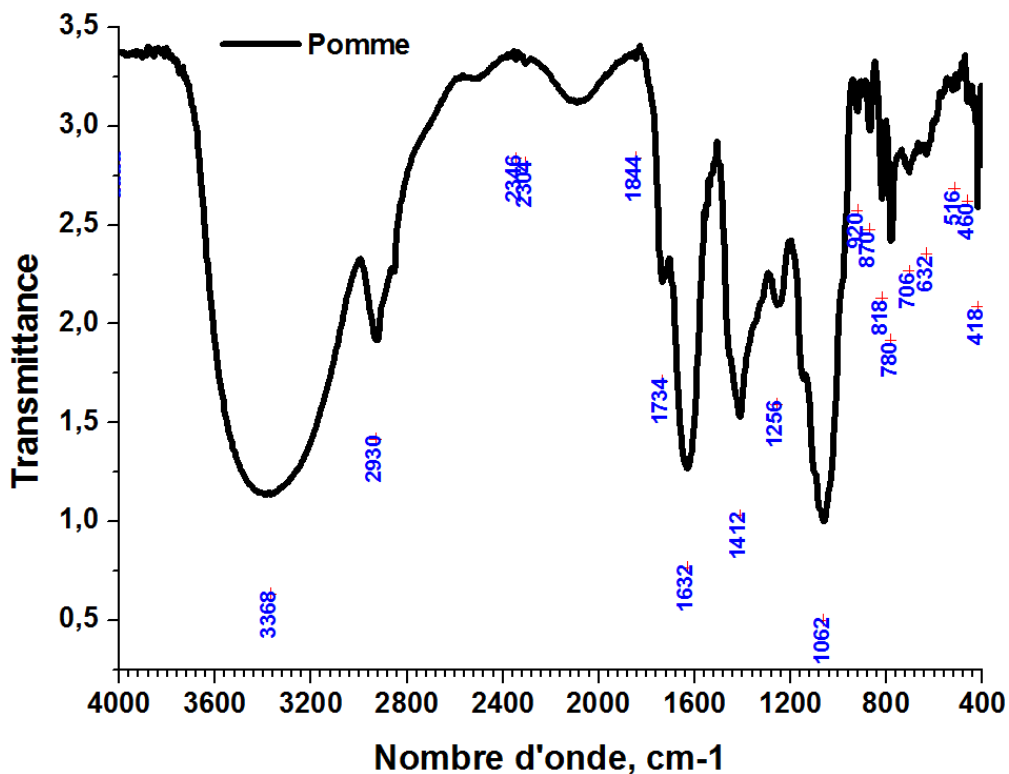


Figure 45: Spectre infrarouge (Pomme) dans la gamme 400-4000 cm-1.

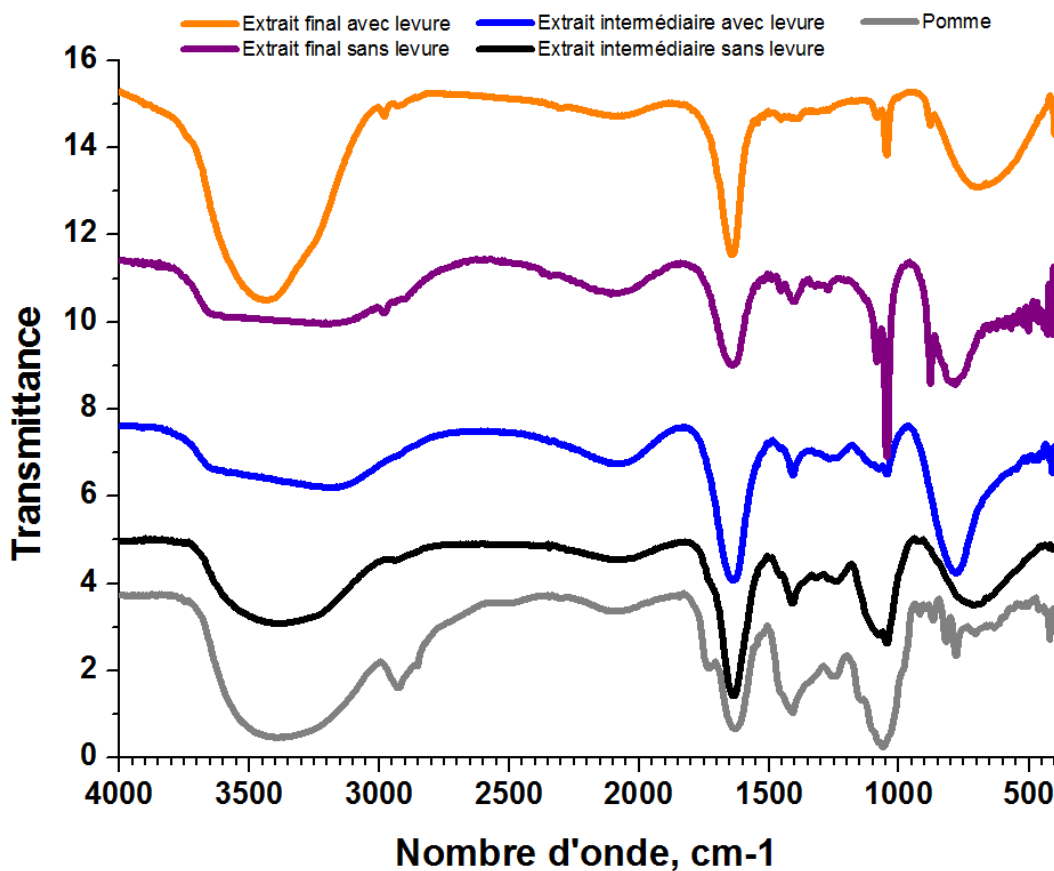


Figure 46: Spectre infrarouge (Pomme) dans la gamme 400-4000 cm-1.

CONCLUSIONS GENERALES

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 (les fruits, pomme, pêche, banane, etc.) et les exploiter dans la production de matériaux plus importants.

Dans le présent travail, des déchets de pommes et de pêches ont été utilisés comme matière première pour la production de bioéthanol. Notre choix de la pomme se justifie en abondance dans notre Wilayat et précisément Bouhmama, car c'est la première culture maraîchère en termes de superficie et de production où une grande quantité est réservée à l'usage alimentaire. On pensait qu'il serait logique de produire de l'éthanol à partir de déchets de pommes.

bioéthanol est obtenu à la suite de la fermentation , Où nous avons abordé la production d'éthanol de manière écologique et économique d'une manière simple et peu coûteuse , où nous avons utilisé le protocole simple et représenté (prototype), et nous avons obtenu de bons résultats en termes de qualité du bioéthanol et un rendement important et en peu de temps., il sera intéressant d'étudier et de mener à bien ce projet simple et de lui donner vie , avec les énormes quantités de déchets de pommes exploitées dans notre état.

Ce mémoire s'organise en trois chapitres

Le premier chapitre présente une étude générale sur les déchets organiques sur l'environnement et la santé humaine. Quelques généralités de bioéthanol

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.

Enfin, La filière de l'éthanol est considérée comme une énergie alternative qui s'inscrit dans la lignée des énergies renouvelables. Une énergie qui vient apporter, en partie, une solution à la forte dépendance du secteur du transport à l'égard des produits pétroliers dont les impacts sur l'environnement sont dénoncés par la communauté internationale. Cette source d'énergie alternative ouvre la voie à de nouvelles avenues.

Références Bibliographiques

- [1] **Bertrand T F., Céline J., Frédéric T., Léopold T N., Robert N,** 2009-Production directe d'éthanol à partir de l'amidon par co-culture de deux souches de levures *Schwanniomycespet Saccharomyces cerevisiae* : application à la bioconversion de l'amidon de manioc et de maïs. *Syllabus Review*, volume(1) : 28-35.
- [2] **Verma M., Bhat P J., Venkatesh K V,** 2003- Quantitative analysis of GAL genetic switch of *Saccharomyces cerevisiae* reveals that nucleocytoplasmic shuttling of Gal80p results in a highly sensitive response to galactose. *J BiolChem*, volume278 (49):48764-9.
- [3] **Shigechi H., Koh J., Fujita Y., Matsumoto T., Bito Y., Ueda M., Satoh E., Fukuda H., Kondo A,** 2004-Direct production of ethanol from raw corn starch via fermentation by use of a novel surface-engineered yeast strain codisplaying glucoamylase and alpha-amylase. *AEM*, volume70 (8):5037-40.
- [4] **ANONYME 1, 2001.** CNRS, INRA, INSERM Gestion des déchets : guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche. 194 p.
- [5] **BERTOLINI.G,** 1990. Le marché des ordures. Edition : L'harmattan, Paris.
- [6] **Mbulugwe S.E et Kassenga G.R. (2004).** Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania, *Resources, Conservation and Recycling* 42 (2004) 183 – 203.
- [7] **Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., (2005-a).** Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott: Partie I : Méthode d'Echantillonnage, article en Presse, 7 pages.
- [8] **Cointreau-Levine S., (1997).** "Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management". *International Occupational and Environmental Medicine*. St. Louis (USA); 25 pages.
- [9] **Ngnikam E., (2002).** La maîtrise de la collecte et de traitement des déchets solides dans les pays en développement et réduction des émissions de gaz à effet de serre, rencontre de la coopération technologique nord-sud pour le développement durable et le climat organisées dans le cadre de POLLUTEC, Lyon 25 et 26 Novembre 2002, 22 pages.
- [10] **Georgieva K. and Varma K. (1999).** Municipal Solid Waste Incineration; World Bank Technical Guidance Report; the International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK; Washington D.C.
- [11] **Abu-Qudais M. et Abu-Qdais H.A. (2000).** Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization; *Energy Conversion & Management* 41 (2000) 983 – 991.
- [12] **Mohee R. (2002).** Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; *Resources, conservation and Recycling* 36 (2002) 33 – 43.
- [13] **Abbase C. (1996).** Programme Régional Environnement COI/FED, Coordination Nationale des Comores, Rapport sur les pollutions ponctuelles à Anjouan, contribution à l'évaluation et à l'élaboration d'un bilan régional sur la pollution et les déchets à Anjouan, 10 pages.
- [14] **François V. (2004) :** Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets, thèse de doctorat N° 8-2004, Université de Limoges.
- [15] **LEROY. JB., 1997.** Les déchets et leurs traitement : les déchets solides industriels et ménagers. Edition : Presse Universitaires de France, Paris, 3^{ème} édit. 127 p.
- [16] **ANONYME 2, 2005.** Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains groupement de Constantine Direction d'assainissement et d'environnement Constantine.

-
- [17] **DAMIEN. A., 2006.** Guide du traitement des déchets. 4^{ème} édition, Dunod, Paris. P 3-16, 279-293.
- [18] **DESACHY. C, 2001.** Les déchets (sensibilisation à une gestion écologique. Paris 2^{ème}édition. 68 p.
- [19] **Collection sur les statistiques de l'environnement, ONS, 2012** (disponible sur le site de l'ONS : www.ons.dz)
- [20] **AND.** Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie – 2014. Disponible sur le site de l'AND : <https://and.dz/>
- [21] **Amory B. LOVINS,** Stratégies énergétiques planétaires, édition Christian Bourgeois, Paris, 1975, page 97.
- [22] **Renewables Information - 2016 edition** - excerpt - Key Renewables Trends, disponible sur le site de l'IEA : www.iea.org
- [23] **Global Trends in Renewable Energy Investment 2016**, <http://www.fs-unep-centre.org> (Frankfurt am Main)
- [24] **REN21. 2017.** Renewables 2017 Global Status Report.
- [25] **Bilan 2010,** Direction Générale des Forêts.
- [26] **Svetlana Ladanai, Johan Vinterbäck.** Global Potential of Sustainable Biomass for Energy. SLU, Institutionen för energi och teknik, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology, Report 013, ISSN 1654-9406, Uppsala 2009.
- [27] **Mounir M., Belgrire M., Lahnaoui S., Hamouda A., Thonart P., Delvigne F., Ismaili 2016.** Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanoloïque, thermique et osmotique de la souche *Saccharomyces cerevisiae* YSDN1 en vue de la préparation du vinaigre de fruits. Revue. Mar. Sci, Argon, Vol 4 pages 86-95.
- [28] **Riess J., 2012.** intensification de la brique « fermentation alcoolique » des substrats betteraviers et autre substrats pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. France ,177pages.
- [29] **Amillastre A., 2012.** Amélioration de la robustesse de souches de levures aux stress technologiques par une stratégie de génie microbiologique. Application à la production industrielle de bioéthanol à partir de matières premières agricoles. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 294 pages.
- [30] **Novak M H., 2004.** Valorisations non alimentaires des coproduits de la transformation de la Betterave sucrière. Etude menée par la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux pour le compte de ValBiom, avec le soutien du Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture.14 pages
- [31] **Département de l'agriculture des États-Unis d'Amérique**, <https://fdc.nal.usda.gov/>
- [32] **FAOSTAT**, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture sur fao.org/faostat
- [33] **Patrick Gormley**, « The facts about pH » , 2003.
- [34] **Cf. G. Bruhat (2005)**, Optique, sixième édition, Dunod : Spectrophotométrie.
- [35] **W.S. Lau**, Infrared characterization for microelectronics, World Scientific, 1999
- [36] **R. Paselk, Robert A. Paselk**, Scientific Instrument Museum, Humboldt State University, « The Chemical Refractometer » , 2010
- [37] **Zosime de Panopolis** (trad. du grec ancien), LES ALCHEMISTES GRECS, ZOSIME DE PANOPOLIS, Mémoires authentiques (textes établis et traduits par Michèle Mertens), Paris, Les Belles Lettres, 2002, 299 p.
- [38] **Colin Archibald Russell**, Chemistry, society and environment : a new history of the British chemical industry, Cambridge, Royal Society of Chemistry, 2000, 372 p. (ISBN 0-85404-599-6), p. 69.
-

- [39] **Sparks, Trevor; Chase, George (2015).** Filters and Filtration Handbook (6th ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 9780080993966.
- [40] **Griffiths, P.; de Hasseth, J. A.** (18 May 2007). Fourier Transform Infrared Spectrometry (2nd ed.). Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-471-19404-0.
- [41] **Pérez-Sariñana, Bianca Yadira & Saldaña-Trinidad, Sergio & Fernando, S. & Sebastian, P. & Eapen, Delfeena.** (2014). Bioethanol Production from Coffee Mucilage. Energy Procedia. 57. 950-. 10.1016/j.egypro.2014.10.077.

ملخص:

الإيثانول الحيوي هو بديل جذاب للغاية للطاقت التقليدية. زاد إنتاج الإيثانول الحيوي في العالم زيادة حادة منذ أزمة النفط في عام 1970. ويمكن إنتاج الإيثانول عن طريق تخمير العديد من الركائز.

يهدف عملنا إلى إنتاج الإيثانول الحيوي عن طريق تخمير النفايات العضوية. يتم استخدام الريسود من التفاح والخوخ كمواد.

تم إجراء تخمير نفايات التفاح وفقاً لاختيار عدد قليل من المعلمات مثل الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ووقت التخمير.

تمت استعادة الإيثانول بالتقطير لإنتاج 66 جم / لتر من الإيثانول.

تم إجراء التقطير بواسطة نموذج أولي لمقطر تم تصنيعه لاختبار كفاءة المقطرات الصناعية والقدرة على قياس تضخيم حجم النموذج

أظهرت النتائج أن نفايات التفاح والخوخ لديها إمكانات كبيرة لإنتاج الإيثانول.

Résumé :

Le bioéthanol est une alternative très intéressante aux énergies conventionnelles. La production de bioéthanol dans le monde a fortement augmenté depuis le choc pétrolier de 1970. L'éthanol peut être produit par la fermentation de plusieurs substrats. Notre travail vise à produire du bioéthanol par fermentation de déchets organiques. les résidus de pomme et de pêche sont utilisés comme matière. La fermentation des déchets de pommes a été réalisée selon le choix de quelques paramètres tels que le pH, la température et le temps de fermentation. L'éthanol a été récupéré par distillation pour produire 66 g/l d'éthanol. La distillation a été effectuée par un distillateur prototype conçu pour tester l'efficacité des distilleries industrielles et la capacité de mettre à l'échelle le prototype. Les résultats montrent que les déchets de pommes et de pêches ont un grand potentiel pour la production d'éthanol.

Abstract:

Bioethanol 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. residue of the apple and peach 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 distillation was made by a prototype distiller made to test the efficacy of industrial distilleries and the ability to scale the prototype. The results show that apple and peach waste has great potential for the production of ethanol.