

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Par :

LEMERINI Hadjer

Sur le thème

Production de bioalcool à partir des déchets alimentaires

Soutenue publiquement le 10/06/2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Z. HADJOU BELAID	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
D. KHERBOUCHE	MCA	ESSA Tlemcen	Encadrante
L. BENHABIB	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
N. BENMOUSSA	Professeur	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Remerciements

On premier lieu je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir donné la foi, le courage et la santé pour accomplir et réaliser ce modeste travail.

Je remercie mon promoteur Mme D.KHERBOUCHE et les membres de laboratoire au niveau d'ESSTA Tlemcen.

Je remercie sincèrement Mme Z. HADJOU BELAID de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury, ainsi que Mme L. BENHABIB Pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Enfin Je remercie également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Ce mémoire est le fruit de ma réussite après plusieurs années de travail, d'efforts et de sacrifices, il me tient à cœur de le dédier :

- ❖ *À l'âme de mon très cher oncle Pr LEMERINI MOSTEPHA.*

- ❖ *À celui qui a orné mon nom avec les plus beaux titres, qui m'a soutenu sans limites et qui m'a appris que le monde est un combat et son arme est la connaissance et le savoir, ma fierté et mon refuge après Dieu.....*

Mon cher papa

- ❖ *Pour celle à qui Dieu a placé le paradis sous ses pieds, le secret de ma force, qui m'a encouragé dans les moments de doute comme ceux de réussite, et qui m'a donnée un amour inconditionnel, un soutien sans faille*

Ma chère maman

- ❖ *À mon cher frère... Amine*
- ❖ *À mes chères sœurs et belle-sœurAmel, Sara, Merjem*

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études

- ❖ *À mes chers neveux et chères nièces*
- ❖ *À toute ma famille. En particulier mes très chères tantes*
- ❖ *À tous mes amis*

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

Hadjer

Table de matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale :	1
Références bibliographie :	4

Chapitre 1 : Les énergies renouvelables

1 . Introduction :.....	6
2. Les énergies renouvelables :	6
3. Les énergies renouvelables en Algérie.....	7
4. Les différents types des énergies renouvelables :	8
4.1 Energie solaire :.....	8
2.2 L'énergie géothermique :	10
2.3 L'énergie hydraulique :.....	11
2.4 L'énergie éolienne :	11
2.5 La biomasse :.....	12
2.5.1 Les types de la biomasse :	13
2.5.2 Les différentes voies de la valorisation énergétique de la biomasse :	14
2.5.3 Les conversions thermochimiques de la biomasse :	15
2.6 Les conversions biochimiques de la biomasse :.....	16
2.6.1 La fermentation alcoolique :	16
2.6.2 La biométhanisation ou digestion anaérobie :	17
2.7 Les disponibilités de la biomasse :.....	18
3 Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables :.....	19
3.2 Avantage :.....	19
3.3 Inconvénients :	19

4	Conclusion :	19
5	Références bibliographiques :	21

Chapitre 2: La fermentation alcoolique.

1.	Introduction :	24
2.	La fermentation alcoolique :	25
3.	Le bioéthanol :	27
a.	Composition du bioéthanol :	27
b.	Propriétés physico-chimiques du bioéthanol :	27
c.	Utilisation de bioéthanol :	28
d.	ETBE (éthyle-tertio butyl-éter) :	29
e.	MTBE (méthyle-tertiobutyl-éter) :	30
f.	Génération du bioéthanol :	30
g.	Les avantages et les inconvénients de bioéthanol :	32
4.	La production d'électricité à partir de bioéthanol :	33
5.	Conclusion :	34
6.	References bibliographiques:	34

Chapitre 3 : La production de bioéthanol à partir des déchets alimentaires.

1.	Introduction.....	37
2.	Matériels utilisés :	37
3.	Le principe de la technique :	39
4.	Les solutions alcooliques utilisées :	41
5.	Etapas expérimentales :	42
6.	Résultats et discussions :	44
7.	Conclusion :	47
8.	Références bibliographiques:	48

Chapitre 4 : Simulation et estimation du potentiel énergétique de bioéthanol.

1.	Logiciel utilisé :	50
----	--------------------	----

2.	Estimation des quantités de déchets utilisés :	52
3.	Application du logiciel GSP12 :	52
3.2	Le compresseur (comp):.....	53
3.4	Le contrôleur du carburant (man fuel ctrl) :.....	55
3.5	L'échappement (exh) :.....	56
4.	Résultats obtenus et interprétations :	57
	Interprétation :	58
5.	L'analyse de l'effet de changement de débit de bioéthanol sur la puissance produite :	59
	Interprétation du graphe :	60
6.	Conclusion :	60
7.	Reference bibliographiques	62
	Conclusion générale.....	63

Liste des figures

Figure 1. 1: Module photovoltaïque

Figure 1.2 : Schéma d'une centrale hydroélectrique

Figure 1.3 : Processus de la biomasse

Figure 1.4 : schéma de la digestion anaérobie des déchets et effluents.

Figure 1.5 : Structure de l'évolution des ER en Algérie de 2015 à 2030

Figure 2.1 : Principales étapes de la fermentation alcoolique

Figure 2.2 : Procédé de production et d'utilisation d'éthanol

Figure 2.3 : Etapes de production de bioéthanol 1ère génération

Figure 2.4 : Etapes de production de bioéthanol 2ème génération

Figure 2.5 : Etapes de production de bioéthanol 3ème génération

Figure 3 .1 : Le schéma d'un évaporateur à rotatif

Figure 3.2 : L'évaporateur rotatif utilisé au niveau de labo d'ESST.

Figure 3.3: Diagramme Pression-Température du corps pur.

Figure 3.4 : Les solutions alcooliques obtenues.

Figure 3.5 : La solution alcoolique.

Figure 3.6 : Le ballon contenant la solution alcoolique.

Figure 3.7: Le bioéthanol obtenue.

Figure 4.1 : Présentation de logiciel GSP 12

Figure 4.2 : Les composants du logiciel

Figure 4.3 : Modèle de la turbine a gaz dans le GSP 12

Figure 4.4 : L'entrée de la turbine à gaz sur GSP12

Figure 4.5: Fenêtre de compresseur

Figure 4.6: Fenêtre de la chambre de combustion.

Figure 4.7 : Le choix du carburant utilisé dans la chambre de combustion

Figure 4.8 : Les caractéristiques d'entrée de la turbine

Figure 4.9 : Les caractéristiques de sortie de la turbine.

Figure 4.10 : La fenêtre d'échappement

Figure 4.11 : Les résultats obtenus de la simulation

Figure 4.12 : Les résultats obtenus pour 70 jours

Figure 4.13 : La puissance produite en fonction de débit de carburant

Liste des tableaux

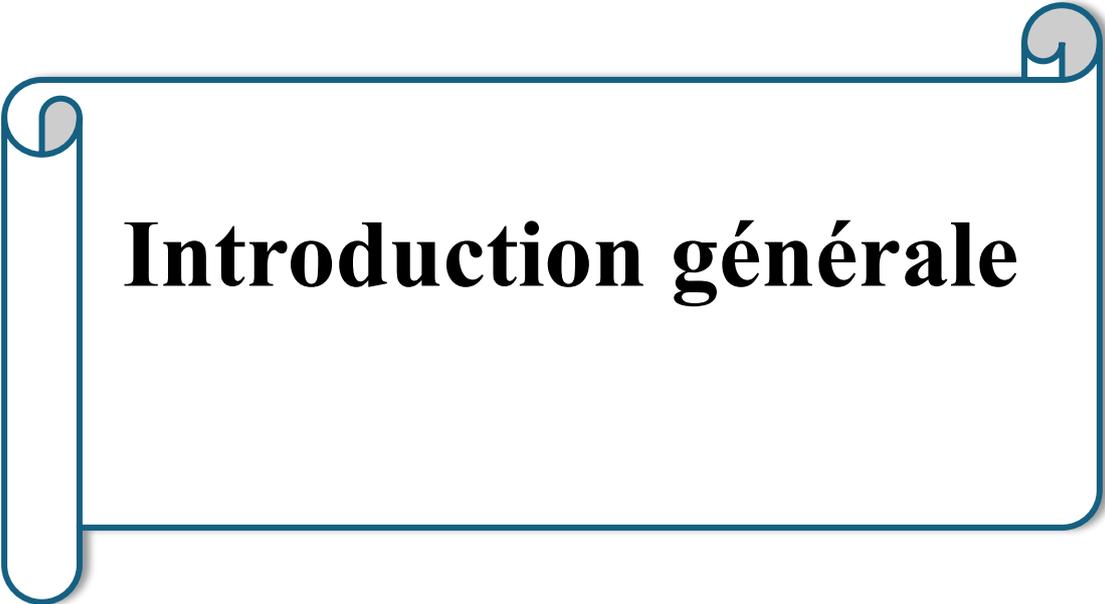
Tableau 1.1 : Tableau récapitulatif des conditions opératoires de différentes transformations thermochimiques

Tableau 2.1 : Propriétés physio -chimiques de l'éthanol

Tableau 3 .1 : Les matériels et les produits utilisés.

Tableau 3.2 : Les résultats obtenus de la production de bioéthanol.

Tableau 4.1 : La quantité des déchets pour chaque région



Introduction générale

De nos jours, la pollution des sols, de l'air et de l'eau par les déchets municipaux, agricoles et industriels augmente de manière significative dans notre pays. Cette situation provoque des conséquences néfastes et des risques pour l'environnement et la santé publique en raison de la production de polluants. En réponse, les industries et les gouvernements sont incités à rechercher des solutions technologiques innovantes permettant un traitement optimal et moins coûteux des déchets [1].

Il existe un besoin mondial immédiat d'une stratégie ingénieuse de conversion des déchets alimentaires en biocarburants afin de remplacer les combustibles fossiles par des ressources renouvelables. Par exemple, la conversion des déchets alimentaires en bioéthanol pourrait conduire à un processus durable ayant le double avantage de résoudre le problème de l'élimination des déchets alimentaires et de répondre aux besoins énergétiques d'une population croissante [2, 3].

Le bioéthanol est considéré comme un biocarburant renouvelable produit à partir de matières organique, mais aussi il est considéré comme une alternative prometteuse aux carburants fossiles en raison de ses avantages environnementaux et de sa capacité à réduire la dépendance aux combustibles d'origine fossile, car aujourd'hui la demande en énergie est en accroissement jour après jour et les énergies non renouvelable tell que le pétrole, le gaz, et le charbon à la cadence actuelle de consommation, les réserves seront épuisées dans quelques décennies [4,5].

L'accent est mis sur ce cadre du mémoire de fin d'études du cycle de master. La recherche est la production de bioéthanol à partir des déchets alimentaires puis la production d'électricité via une simulation.

Le premier chapitre, abordera de manière générale les énergies renouvelables en mettant en évidence les concepts clés liés à la biomasse.

Le deuxième chapitre, se focalise sur l'étude des concepts les plus importants relatifs à la fermentation alcoolique.

Le troisième chapitre, concerne la technique expérimentale et les résultats de la production de bioéthanol à partir des déchets alimentaires.

Le dernier chapitre, traite une étude de simulation et estimation du potentiel énergétique de bioéthanol obtenu à partir des déchets alimentaires de centre d'enfouissement de Tlemcen, grâce à logiciel GSP12.

Références bibliographie :

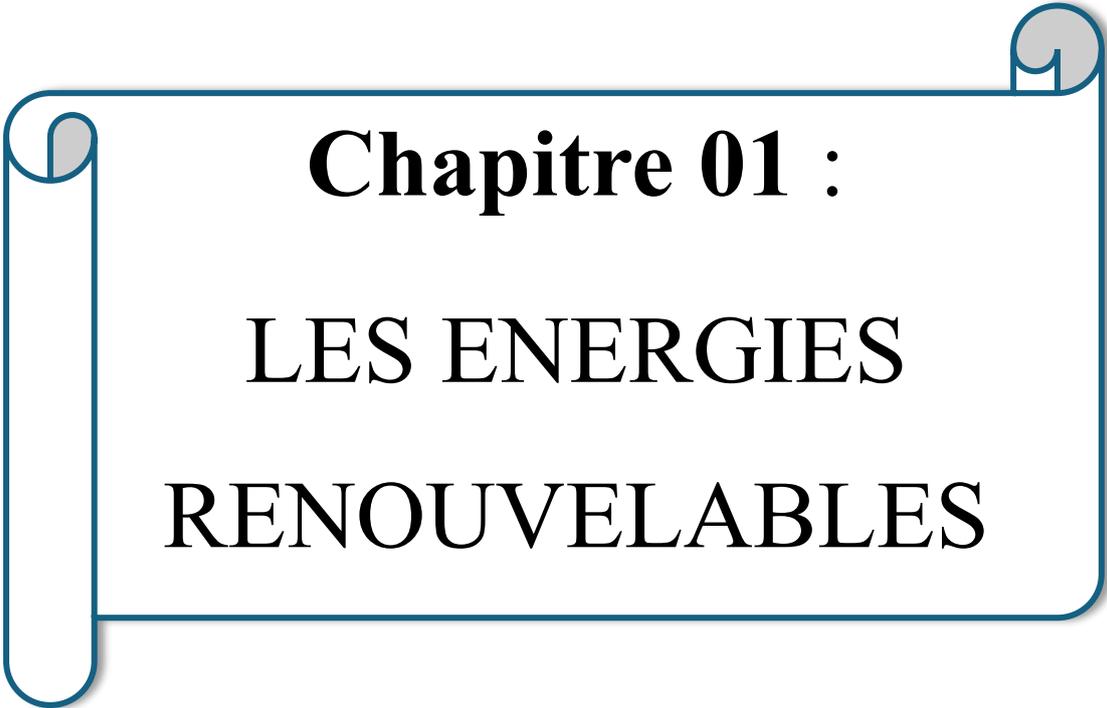
[1] Smith, John. "Innovative technological solutions for municipal, agricultural, and industrial waste treatment." *Environmental Engineering Journal*.

[2] Johnson, Emily R., et al. "Global need for innovative food waste-to-biofuel conversion strategies." *Renewable Energy Journal*.

[3] Brown, Michael A., et al. "Bioethanol production from food waste: current perspectives and future directions." *Biofuel Research Journal*.

[4] Lee, Sang Yup, et al. "Bioethanol production from food waste: a comprehensive review." *Environmental Science and Pollution Research*.

[5] International Energy Agency. "Renewables 2021 : Analysis and Forecast to 2026."



Chapitre 01 :
LES ENERGIES
RENOUVELABLES

1 . Introduction :

Actuellement, de grandes batailles sont à mener au cours du siècle pour la survie de la planète, notamment l'énergie. Face aux défis majeurs posés par l'épuisement imminent des ressources énergétiques fossiles et les préoccupations environnementales croissantes, le développement des énergies renouvelables est devenu une priorité incontournable dans le cadre du développement durable.

La demande mondiale des besoins énergétique est augmentée, En 2021, selon les projections de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) la demande de gaz naturel était de 149,5 Tpi3 et le pétrole brut était de 94,5 millions b/j. Ces résultats sont à cause d'une augmentation de la population mondiale.

Plus de 85% de notre approvisionnement énergétique provient de sources fossiles telles que le pétrole, le charbon, le gaz naturel et l'énergie nucléaire, mettant en évidence la nécessité urgente de transition vers des alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement.

La conférence de Kyoto avait une réunion internationale qui visait à réduire les émissions de gaz à effet de serre [1], depuis cette conférence les énergies renouvelables représentent le moyen privilégié pour s'affronter contre les émissions de gaz à effet de serre.

Quand on parle d'énergie renouvelable on pense souvent au solaire, à l'éolien ou même à l'hydraulique mais plus rarement à la biomasse pourtant elle représente un réserve d'énergie considérable.

Dans ce chapitre on va présenter d'une manière générale les énergies renouvelables (éolienne, géothermique, hydraulique, solaire), ainsi ses avantages et ses inconvénients aussi un état de connaissance sur les notions importantes relatives à la biomasse (définitions les différents types et de voix valorisation de biomasse).

2. Les énergies renouvelables :

L'énergie est dite renouvelable si seulement elle peut être produite à partir d'une source régénérée naturelle pour être considérée comme inépuisable c'est-à-dire, sa

vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation, disponibles sans limite de temps [2].

La manipulation et le développement des énergies renouvelables ont connu une forte croissance pendant ces dernières années. Par exemple dans 20-30ans tout système durable sera basé sur la manipulation rationnelle des sources énergétiques traditionnelles.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire, hydraulique, éolienne et aussi la biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie de humanité .Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires [3] [4].

3. Les énergies renouvelables en Algérie :

Les énergies renouvelables en Algérie sont en plein développement. Le pays s'est engagé sur la voie des énergies renouvelables et amorce une dynamique d'une grande importance d'énergie verte afin d'apporter des solutions plus efficaces et durables aux grands défis environnementaux et aux problématiques de conservation des ressources énergétiques non renouvelables.

L'Algérie possède un énorme potentiel en énergie renouvelable en Afrique du Nord, notamment dans le solaire et la biomasse.

Il y a plusieurs projets en cours en Algérie pour exploiter le potentiel des énergies renouvelables, il y a des initiatives pour développer des centrales solaires thermodynamiques et des parcs éoliens. Le gouvernement encourage également l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie. Ces projets visent à diversifier le mix énergétique du pays et à réduire sa dépendance aux combustibles fossiles.

Le marché Algérien des énergies renouvelables a de larges aspects et l'amélioration des énergies renouvelables est considérée comme l'un des axes de la politique énergétique et environnementale nationale. Parmi les objectifs fixés par le gouvernement, le marché local doit atteindre 500 mégawatts en 2010, les énergies renouvelables générant 5 % du total [3].

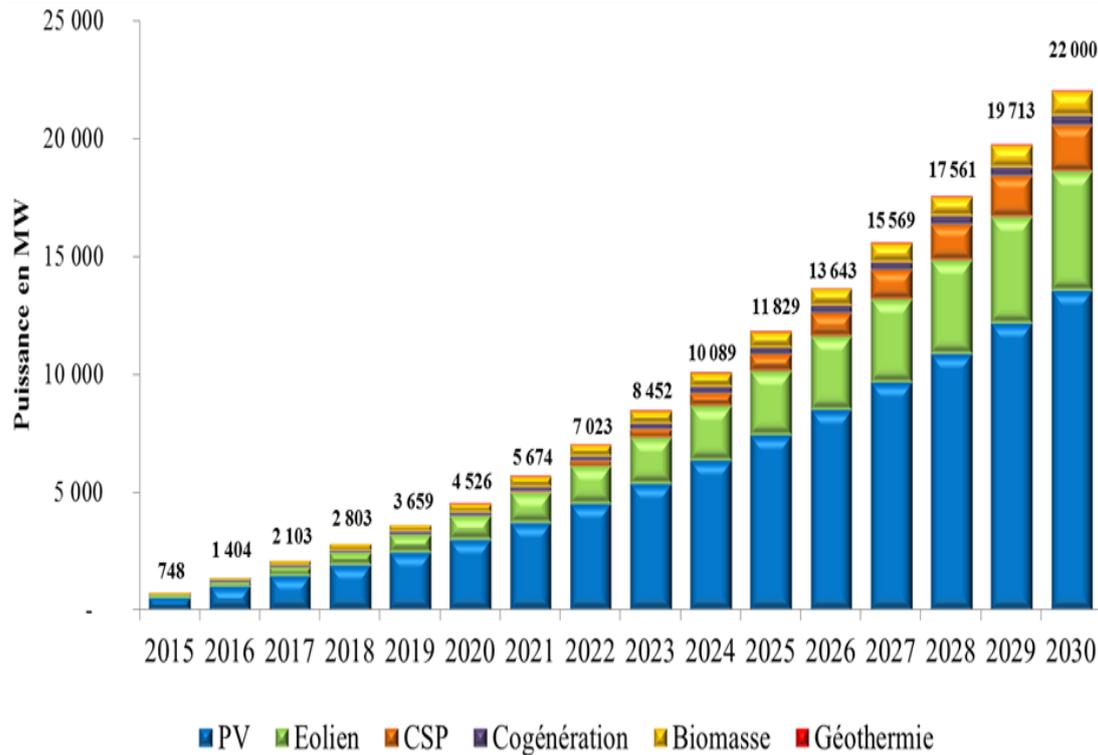


Figure 1.5 : Structure de l'évolution des ER en Algérie de 2015 à 2030.

4. Les différents types des énergies renouvelables :

Il existe plusieurs types des énergies renouvelables qui regroupent un grand nombre de système différent selon la source d'énergie valorisé et aussi selon la forme d'énergie obtenu [5] [6]. Les principaux types d'énergies renouvelables sont :

- Énergie solaire
- Énergie géothermique
- Énergie hydraulique
- Énergie éolienne
- Energie de la biomasse

4.1 Energie solaire :

Le soleil est considéré comme une source d'énergie presque inépuisable, qui envoie un rayonnement vers la surface de la Terre équivalent à environ 8 400 fois la consommation énergétique annuelle de l'humanité. Cela est équivalent à une réception de puissance instantanée de 1 kilowatt crête par mètre carré (kW/m²)

répartie sur tout le spectre électromagnétique c'est-à-dire de l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent plus d'énergie du soleil en 6 heures que l'humanité n'en utilise en une année [7].

L'énergie solaire est une forme d'énergie renouvelable qui est obtenu à partir du rayonnement du soleil. Elle peut être convertie en électricité au moyen de panneaux photovoltaïques ou bien en chaleur en utilisant des panneaux thermiques.

➤ L'énergie solaire photovoltaïque :

Le principe fondamental de la photovoltaïque est de transformer les rayonnements solaires en courants électrique aux moyens d'un panneau ou module photovoltaïque. Cette forme d'énergie a été déjà exploitée dans de plusieurs pays, plus précisément là où les sources d'énergie conventionnelles ne disposent pas telles que les hydrocarbures ou le charbon [7].



Figure 1. 1: Module photovoltaïque

➤ **L'énergie solaire thermique :**

Celle-ci génère simplement de la chaleur à l'aide des panneaux sombres. Mais on peut aussi utiliser la chaleur du soleil pour générer de la vapeur, puis convertie en électricité [7].

➤ **L'énergie solaire thermodynamique :**

C'est une autre forme d'énergie solaire appelée aussi énergie solaire passive qui implique l'utilisation directe de la lumière pour produire de la chaleur

2.2 L'énergie géothermique :

L'énergie géothermique est une énergie renouvelable qui provient de la chaleur interne de la Terre. Elle est produite à partir de réservoirs souterrains de vapeur et d'eau chaude, car la température sous-sol est très élevée, plus on creuse profondément, plus la température augmente ce qu'on appelle « gradient géothermique ». La valeur moyenne de gradient est de 3 °C pour chaque 100 m, mais cette valeur peut varier en fonction de la localisation géographique [8]. Ce qui peut être exploités pour produire de l'électricité ou bien même pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments.

On distingue généralement 3 types différents d'énergie géothermique :

- **La géothermie à très/s basse énergie (moins 30 °C)** : Elle consiste à prélever la chaleur du sous-sol à base température d'une profondeur jusqu'à 200 m. Elle est utilisé pour le chauffage des maisons individuelles, les immeubles, centre commerciaux ... [8].
- **La géothermie profonde basse énergie (30-90°C)** : C'est le même principe que la géothermie à très basse énergie sauf que celle-là est à une profondeur plus de 200m. Ce type permet le chauffage des quartiers de milliers d'habitant [8].
- **La géothermie haute énergie (plus de 150°C)** : Elle est conçue pour la production d'électricité, mais aussi pour le chauffage. Il faut pour cela des vapeurs ou bien des eaux très chaud [8].

2.3 L'énergie hydraulique :

L'eau est considérée comme une source énergétique inépuisable, il y en a partout autour de nous : dans les fleuves, les océans, les rivières.... En chutant ou en coulant il dégage une énergie impressionnante pour faire tourner une turbine qui produit de l'électricité. Plus l'écoulement de l'eau est vite, plus l'énergie dégagée est importante.

Actuellement, l'énergie hydraulique est la plus utilisée au monde, grâce à sa souplesse d'exploitation et ses avantages écologiques et économiques.

Les centrales hydroélectriques disposent de réservoirs d'eau qui contiennent une pompe qui contrôle la quantité d'écoulement d'eau, et au fond se trouve une sortie dans laquelle s'écoule l'eau. Au cours de ce processus, l'eau acquiert de l'énergie potentielle et cette énergie est transformée en énergie cinétique.

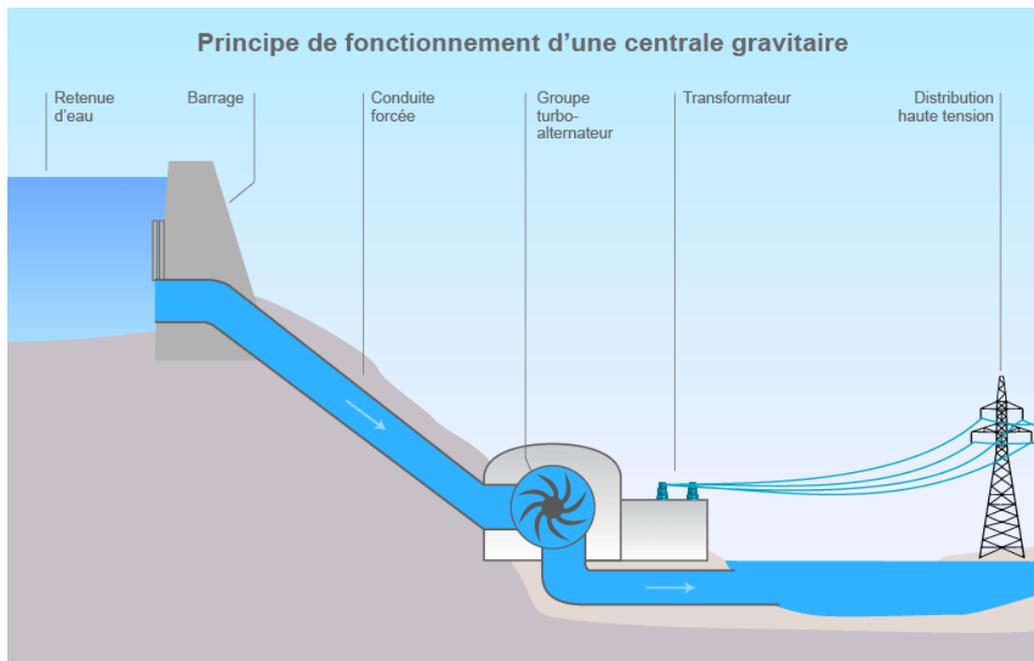


Figure 1.2 : Schéma d'un central hydroélectrique [9].

2.4 L'énergie éolienne :

Le vent est le résultat d'un réchauffement inégal de la surface de la terre qui provoque à créer des zones de pressions et températures différentes, connu sous le nom de « Les anticyclones, et les dépressions ». Alors pour réaliser un rééquilibre d'une manière naturelle de pression il faut que les masses d'air se déplacent des zones anticycloniques vers les zones de dépressions [8].

Lorsqu'on parle de l'énergie éolienne on parle des moulins, les principes fondamentaux de cette énergie sont aussi vieux que les moulins à vent. Le système de fonctionnement d'une éolienne est basé sur la vitesse du vent, plus la vitesse du vent est importante, plus la puissance énergétique est grande.

Aujourd'hui, il existe deux types d'éolienne :

- * L'éolienne domestique : sa puissance est faible, elle consiste la production d'électricité pour les besoins personnels

- * L'éolienne de forte puissance : celle la consiste la production d'électricité au réseau national

Pour différentes raisons plusieurs pays misent en jeu l'utilisation et le développement d'énergie éolienne, d'abord grâce à ses bénéfices économiques, elle est considérée comme une source d'énergie rentable car le coût du kilowattheure de l'énergie éolienne dans des endroits ventilés se rapproche de plus en plus de celui des hydrocarbures. Pour déterminer la viabilité économique d'une éolienne, il est nécessaire d'étudier les trois facteurs principaux : Le rendement du générateur, les caractéristiques des pales, et le plus important la vitesse moyenne du vent.

2.5 La biomasse :

Le terme biomasse provient de matière organique non fossiles, végétales ou bien issue des êtres vivants telle que le bois, et tous types des déchets alimentaires, agricoles et même industriels.

La biomasse est considérée comme la plus ancienne source énergétique exploitée par l'humanité. Son utilisation est due à la maîtrise du feu, depuis 450 000 ans [10].

Tout comme l'énergie des combustibles fossiles, L'énergie de la biomasse autrement dit la bioénergie est dérivée de l'énergie solaire emmagasinée dans les plantes par la photosynthèse, dont cette réaction de base entre le CO₂ dans l'air, l'eau et la lumière du soleil s'écrit de manière simplifiée :



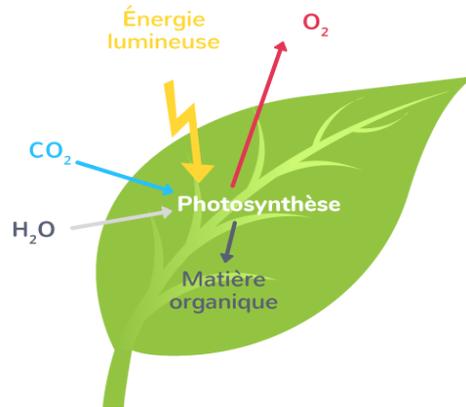


Figure 1.3 : Processus de la biomasse [11].

La majeure opposition entre ces deux formes d'énergie est que la bioénergie est bien gérée et renouvelable donc elle peut être utilisée de façon continue, par contre, les énergies fossiles ont besoins des milliers d'années pour se transformer en énergie utilisable.

La réaction de photosynthèse nécessite un apport énergétique près de 500kj/mol. Cette quantité d'énergie est fournie naturellement par le rayonnement solaire.

La biomasse peut être présente sous différent forme : solide, liquide ou bien gazeuse et peut se dévouer à plusieurs applications. Actuellement, l'énergie de la biomasse dépendre à grand échelle les solides (copeaux, granulats sciure, charbon, sciure, ordures ménagères) et aussi les liquides (lessives de cuisson) provenant de la cuisson du bois dans l'industrie papetière [12].

2.5.1 Les types de la biomasse :

Il existe plusieurs types de biomasse, classés en fonction de leur origine et de leur composition. Une approche simplifiée consiste à identifier quatre catégories principales :

- * Plantes de type « bois ».
- * Plantes herbacées.
- * Plantes aquatiques.
- * Engrais ou fumiers.

On peut subdiviser la catégorie des "plantes herbacées" en deux sous-catégories distinctes "sèche" et "humide". Par conséquent, les catégories telles que "fumiers", "plantes aquatiques" et "herbacées humides" seront naturellement orientées vers des processus à base d'humidité, tels que la fermentation. En revanche, les catégories "herbacées sèches" et du type "bois" seront dirigées vers des procédés à sec tels que la gazéification, la combustion et la pyrolyse.

En général, on opte pour le processus de valorisation humide lorsque les exigences en énergie pour le séchage dans le processus sec sont disproportionnées par rapport à l'énergie contenue dans le produit sec [11].

Les ressources de biomasse peuvent être regroupées en différentes catégories en fonction de leurs origines :

* Le bois, est considéré comme la principale source d'énergie de la biomasse aujourd'hui [13]. Des exemples de déchets forestiers comprennent des résidus tels que les arbres morts, les branches et les souches, ainsi que des coupures de cour, des copeaux de bois et des déchets solides.

* Une usine traitant de la biomasse ou de matières animales, pouvant être converties en fibres ou autres produits chimiques industriels, incluant également la production de biocarburants [14].

* Les déchets organiques, tels que les déchets urbains englobant les boues d'épuration, les ordures ménagères, ainsi que les déchets agricoles tels que les effluents agricoles [15].

2.5.2 Les différentes voies de la valorisation énergétique de la biomasse :

La biomasse, à l'état brut, présente des défis en tant que combustible direct. Cependant, sa transformation offre la possibilité d'obtenir des combustibles plus performants, se déclinant sous différentes formes :

- Solide : avec des produits tels que les pellets, les plaquettes, les semi-cokes, le charbon de bois, entre autres.

- Liquide : incluant des carburants tels que l'éthanol, le biodiesel, et les huiles pyrolytiques.
- Gazeuse : englobant des gaz comme ceux issus de décharges, le biogaz, le gaz provenant de la combustion du bois, ou d'autres résidus, pouvant être utilisés dans des moteurs, des chaudières ou des turbines.

La transformation de la biomasse peut s'effectuer par différentes méthodes, notamment par voie thermochimique (sèche), biochimique ou mécanique (humide). Le choix de la méthode dépend de plusieurs facteurs tels que le type et la quantité de biomasse disponible, le type d'énergie finale recherché, ainsi que des considérations économiques et environnementales, entre autres. La plupart des processus de conversion peuvent être regroupés en deux catégories distinctes :

La filière de conversion thermochimique ou voie sèche, englobant des procédés tels que la combustion, la gazéification et la pyrolyse.

La filière de conversion biochimique ou voie humide, comprenant des techniques telles que la digestion et la fermentation [16].

2.5.3 Les conversions thermochimiques de la biomasse :

Actuellement, la transformation thermochimique est probablement responsable de plus de 95% de la valorisation énergétique de la biomasse [17].

La nature inhérente des composants de la biomasse favorisera, de manière préférentielle mais non exclusive, certaines voies de valorisation énergétique. Les trois principales méthodes thermochimiques couramment utilisées pour convertir la biomasse sont la combustion, la pyrolyse et la gazéification [18].

Ces trois approches sont regroupées sous le terme de conversion thermochimique, qui englobe un ensemble de processus influencés par la chaleur, induisant des modifications chimiques dans les composés constitutifs des produits d'origine.

Dans ce chapitre, le tableau détaille les conditions de température et d'atmosphère, ainsi que les produits obtenus pour chaque transformation.

Transformations thermochimiques	Température	Atmosphère	Produits
Pyrolyse	< 700°C	Inerte (absence de O ₂)	Solide carboné (charbon) + liquide (goudrons) +gaz
Gazéification	>800°C	Gaz réactif air, O ₂ , CO ₂ , H ₂ O, etc..	Essentiellement mélange gazeux H ₂ , CO, CO ₂ et CH ₄
Combustion	>900°C	O ₂ (air)	CO ₂ +H ₂ O

Tableau 1.1 : Tableau récapitulatif des conditions opératoires de différentes transformations thermochimiques [19].

2.6 Les conversions biochimiques de la biomasse :

Après avoir examiné les transformations thermochimiques de la biomasse, qui représentent plus de 95% des méthodes de valorisation énergétique de la biomasse, nous allons maintenant nous intéresser aux transformations biochimiques. Ces dernières sont des processus naturels de décomposition sous l'action des bactéries, mais elles peuvent être contrôlées afin de produire un combustible facilement exploitable. Deux filières de conversion biochimique de la biomasse se révèlent particulièrement intéressantes [11] :

- La fermentation alcoolique.
- La biométhanisation ou digestion anaérobie.

2.6.1 La fermentation alcoolique :

La fermentation de la biomasse est un processus biochimique impliquant du glucose et mettant en œuvre des bactéries en l'absence d'oxygène.

Le principe est le suivant : les déchets organiques sont placés dans un réservoir cylindrique et étanche appelé « digesteur » ou « méthaniseur », où ils sont exposés à l'action de micro-organismes (bactéries) en l'absence d'air. (Voir chapitre 2).

2.6.2 La biométhanisation ou digestion anaérobie :

La fermentation anaérobie est un processus qui participe à la décomposition des matières organiques mortes, qu'elles soient d'origine végétale ou animale, les transformant en éléments simples, gazeux et minéraux. Cette activité contribue au maintien des cycles biologiques, où s'applique le principe selon lequel « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » [20].

Le terme 'anaérobie' fait référence à un milieu ou à un processus qui se déroule en l'absence d'oxygène, cela veut dire que la fermentation anaérobie se déroule en absence d'oxygène, favorisant ainsi la transformation la plus complète possible des matières organiques en gaz, principalement du méthane (CH₄, entre 50 et 75%) et du dioxyde de carbone (CO₂, entre 25 et 50%) [21].

La décomposition est orchestrée par des communautés microbiennes complexes, qui se déroulent en 4 étapes principales :

- **Hydrolyse**
- **Acidogènese**
- **Acentogènese**
- **Méthanogènese**

Ces bactéries méthanogènes utilisent les composés mentionnés pour produire du méthane au cours de cette étape, avec les réactions suivantes :

- **Réduction du CO₂ :**



- **Décarboxylation de l'acide acétique :**



Les processus biochimiques et microbiologiques se déroulent à des vitesses variables et peuvent se produire simultanément ou séparément, en fonction du procédé anaérobie spécifique utilisé.

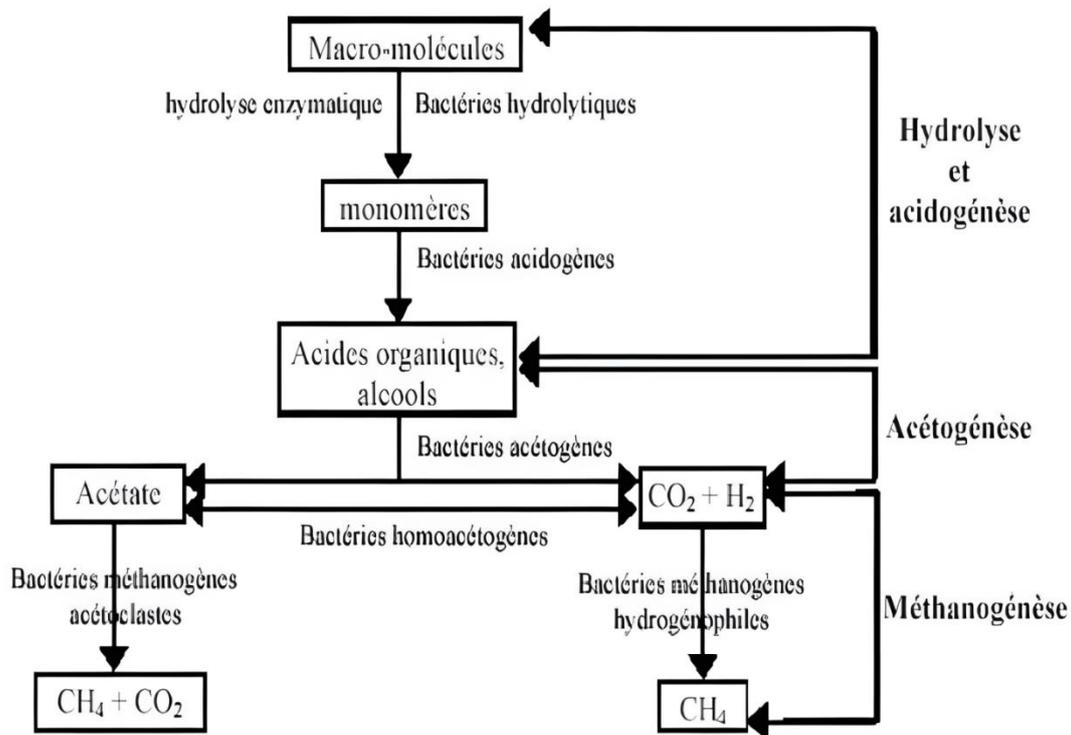


Figure 1.4 : schéma de la digestion anaérobie des déchets et effluents.

2.7 Les disponibilités de la biomasse :

D'un point de vue, la disponibilité de la biomasse résiduelle autrement dit les déchets agricoles est très saisonnière et se limite à quelques mois par an. Il est rare que plusieurs récoltes se succèdent sur les mêmes surfaces au cours de la même année. Par conséquent, les sous-produits agricoles doivent être récoltés puis stockés. Dans certains cas, en raison du risque de développement et de prolifération de certains champignons ravageurs, ces produits ne peuvent pas être stockés et doivent être éliminés rapidement. Cette situation peut donc entraîner une disponibilité relativement limitée de la matière première et, dans tous les cas, induire des coûts de stockage très élevés [22].

3 Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables :

3.2 Avantage :

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages :

- D'une manière générale elles sont inépuisables contrairement aux énergies fossiles qui s'épuisent avec le temps.
- Elles sont beaucoup plus respectueuses de l'environnement, car elles émettent moins de gaz à effet de serre et contribuent ainsi à lutter contre le changement climatique.
- Les énergies renouvelables permettent également de réduire la dépendance aux importations d'énergie et favoriser l'indépendance énergétique des pays.
- Elles créent de nouvelles opportunités économiques, en favorisent la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables.

3.3 Inconvénients :

Comme pour chaque chose les énergies renouvelables ont également quelques inconvénients à prendre en compte, par exemple :

- Leur production peut être intermittente, car elle dépend des conditions météorologiques (le soleil pour l'énergie solaire, le vent pour l'éolien). Cela veut dire que la disponibilité de l'énergie peut avoir des fluctuations.
- La mise en place de certaines infrastructures pour les énergies renouvelables peut nécessiter des investissements initiaux importants.
- Des impacts négatifs sur la vie des habitants tant sonores que visuel. Comme le cas des panneaux solaires sur les toits des maisons, et les champs éoliens offshore ou ceux implantés près des habitations.

4 Conclusion :

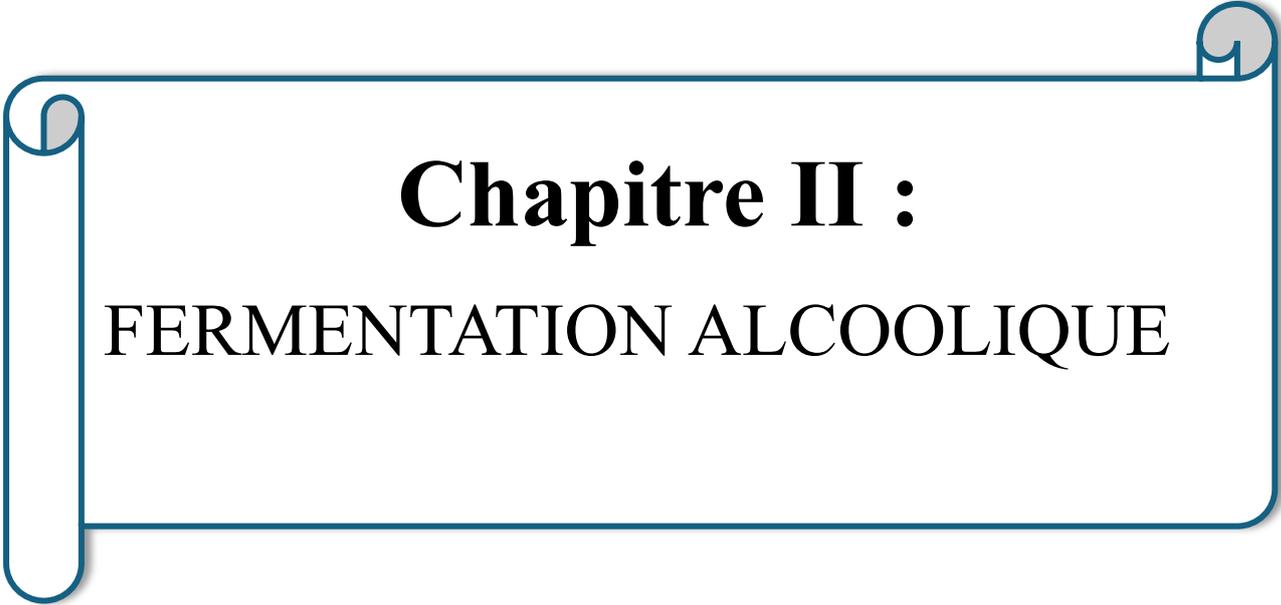
L'exploitation de ces sources d'énergie contribuera à la préservation des ressources nationales tout en réduisant considérablement les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'Algérie dispose d'un important gisement d'énergie inexploitée, dont la récupération représente une solution offrant de nombreux avantages en termes d'énergie, d'économie et même d'environnement.

Dans ce chapitre, nous abordons des sujets d'actualité concernant le développement des sources d'énergie renouvelables, en mettant l'accent sur leur respect de l'environnement, leur disponibilité illimitée et leur accès gratuit. Nous fournissons aussi un aperçu sur la biomasse qui représente une source d'énergie alternative qui offre également une solution efficace à la crise énergétique. Sa valorisation peut contribuer de manière significative au développement durable du pays. Bien que ses applications soient encore à un stade précoce, la biomasse devrait connaître une expansion rapide dans un avenir proche, étant donné le large éventail d'applications possibles.

5 Références bibliographiques :

- [1] Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Convention internationale, 1992
- [2] Soltane Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse Doctorat, Université de Constantine, 2010.
- [3] Baroud kendo li, « État de l'art et modélisation des microcentrales », Magister en électrotechnique, Université de Constantine 2007
- [4] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie Solaire Photovoltaïque », STI ELT, juin 2007, énergie solaire photovoltaïque.pdf, consulté janv. 2014.
- [5] B. Samiha, B. Malika, « Optimisation énergétique de chaine de conversion d'énergie photovoltaïque », mémoire de master. Université Mohamed Boudiaf de Mesila, 2021.
- [6] O. Gergaud, «Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models», PhD- Thesis, McGill University, Montreal, Canada, 2002.
- [7] S. Hamza, « Modélisation Et Commande Des Convertisseurs DC-DC Utilisés Dans Les Systèmes Photovoltaïques (Théorie et Expérimentation) », Thèse de Doctorat de L'université de Batna 2, Décembre 2016.
- [8] Pr A. Liazid, cours << Energie et environnement >>. Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [9] L'hydroélectricité, Bases et présentation générale. Département Energie & Fluides de l'université de lorraine.
- [10] Casimir TOGBE Etude cinétique de l'oxydation de constituants de biocarburants et composés modèles – Formation de THÈSE dirigée par polluants, Paris, 27 Octobre 2010
- [11] KHERBOUCHE, D. (2011). Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse (Doctoral dissertation). Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

- [12] A. Madoui, K.Haddane “ Étude et Réalisation d’une Eolienne de Faible Puissance pour Site Isolé Banc d’essai Pédagogique », Mémoire d’Ingénieur, Université de Batna, 2005.
- [13] B. Negrou., N. Settou., N. Chennouf., B. Dokkar. Valuation and development of the solar hydrogen production. Int. Journal of Hydrogen Energy, 2011.
- [14] D. Yacine., B.Med. Lazhar. Estimation de la potentielle biomasse en Algérie. Mémoire de Master, Génie énergétique. Ouargla : Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [15] La France se penche sur le potentiel de la voiture à hydrogène [archive], Les Échos, 9 septembre 2015.
- [16] Research in Thermochemical Biomass Conversion -- An International Conference, Phoenix, Arizona, U.S.A. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1988.
- [17] S. Sofer et O.R. Zaborsky. Biomass conversion processes for energy and fuels: edited by sofer and or zaborsk . Plenum press, new york. 1981.
- [18] Diaz, c.j.g., Under standing biomass pyrolyses kinetics: improved modeling based on compréhensive thermokineticanalys , 2006.
- [19] Research in thermochemical biomass conversion -- an international conference, Phoenix, Arizona, u.s.a., may 2-6, 1988. journal of analytical and applied pyrolysis, 1988.
- [20] I.H.E.M. Stassen. Stassen, i.h.e.m., biogas and biomass technology: energy generation from biomass and waste in the netherlands. renewable energy, 1994. 5(5-8): p. 819-823.
- [21] jagad is h, k.s., et al., plug flow digestors for biogas generation from leaf biomass. biomass and bioenergy.
- [22] Rouai Mohamed, Zouzou Abderahmane. Mémoire Présenté pour l’obtention du diplôme de MASTER , Spécialité : Génie Mécanique ; Option : Génie Energétique. Thème (Estimation du potentiel de la production d’hydrogène à partir de la biomasse).



Chapitre II :

FERMENTATION ALCOOLIQUE

1. Introduction :

La fermentation est un processus ancien qui remonte à des milliers d'années, bien avant que l'humanité ne comprenne les mécanismes microbiologiques qui le soutiennent. Les premières preuves de l'utilisation de ce processus par les humains remontent à l'époque néolithique, les formes de fermentation étaient probablement le résultat d'observations fortuites, lorsque les gens ont remarqué que certains aliments se transformaient en produits différents lorsqu'ils étaient laissés à l'air libre.

Les premières applications de la fermentation étaient principalement dans la production d'aliments, comme la transformation du lait en yaourt ou en fromage, la fermentation du pain, la fabrication de bière et de vin. Ce n'est qu'au XVIIe siècle que les scientifiques européens comme Antonie van Leeuwenhoek ont découvert les micro-organismes bien que leur lien avec la fermentation n'ait pas encore été compris [1]. Au XIXe siècle, Louis Pasteur, a mené des expériences révolutionnaires sur la fermentation. Il a découvert que la fermentation était causée par des micro-organismes, principalement des levures et des bactéries, qui convertissaient les sucres en d'autres produits [2] [3]. Ces travaux ont ouvert la voie à une meilleure compréhension et à un contrôle plus efficace de la fermentation.

Au fil du temps, les connaissances acquises sur la fermentation ont été appliquées à de nombreux domaines, y compris l'industrie alimentaire, pharmaceutique, chimique et biotechnologique. La fermentation est utilisée pour produire une gamme impressionnante de produits, des aliments fermentés, en passant par les biocarburants et les produits chimiques.

Aujourd'hui, il existe plusieurs types de fermentation : alcoolique, lactique, acétique et malolactique. Dans ce chapitre on s'intéresse à étudier les notions les plus importants sur la fermentation alcoolique.

2. La fermentation alcoolique :

La fermentation est un processus biochimique qui se déroule dans des milieux dépourvus d'oxygène mais aussi qui transforme une substance organique grâce à l'action d'enzymes, également connues sous le nom de ferments. Ces enzymes sont générées par des micro-organismes invisibles à l'œil nu, tels que les levures, les bactéries, les champignons et les moisissures.

Elle peut être contrôlée de façon à obtenir un combustible facilement exploitable. Actuellement, deux grandes familles de biocarburant sont en cours de développement :

- Les esters d'huiles végétales, tels que l'ester de colza intégré au gazole ou au fioul domestique, ainsi que l'ester de tournesol actuellement en phase de test pour être initialement incorporé au fioul [4,5].
- L'éthanol, qui est produit à partir de blé et de betteraves, peut être incorporé dans le supercarburant sans plomb sous forme d'Ethyl Tertio Butyl Ether (ETBE) [6].

La fermentation alcoolique est principalement applicable à certaines catégories de biomasses, en particulier les sous-produits riches en glucides, tels que les amidons et les sucres libres. Il est également envisageable d'utiliser certains résidus végétaux tels que les rafles de maïs ou même les papiers-cartons. Cependant, le traitement des biomasses lignocellulosiques nécessite généralement une opération de prétraitement pour éliminer la lignine, souvent par hydrolyse alcaline, ce qui entraîne des coûts supplémentaires significatifs [7,8].

Cette trajectoire métabolique suit la séquence des réactions de la glycolyse, où le pyruvate est ensuite converti en éthanol à travers l'acétaldéhyde. Le bioéthanol peut être utilisé directement, soit pur, soit en mélange avec les essences, ou bien être converti en ETBE (éthyl tertio butyl éther) avant utilisation [9].

Le concept de la fermentation implique trois étapes fondamentales dans les installations industrielles de type industriel :

- **L'hydrolyse :** Nous procédons d'abord à une hydrolyse enzymatique en faisant macérer le substrat dans une solution contenant une ou plusieurs enzymes hydrolytiques. Cette opération se déroule généralement à une

température de 50°C, parfois jusqu'à 80-90°C, en milieu acide. Après cela, nous obtenons un sirop de sucre ainsi que des résidus, que nous neutralisons et filtrons.

- **La fermentation :** Le sirop résultant est transféré dans le fermenteur où il est ensuite inoculé avec une culture de levures. Habituellement, cette étape est réalisée à des températures comprises entre 30 et 40°C. Des études sont actuellement menées pour explorer l'utilisation de souches de levures thermophiles et la fermentation à haute pression afin de faciliter l'extraction continue de l'alcool produit.
- **La distillation :** Il s'agit de l'étape conventionnelle de récupération de l'alcool éthylique produite par évaporation. Il est important de souligner que cette étape nécessite un investissement similaire à celui du fermenteur. Au final, nous obtenons de l'alcool éthylique, pouvant être utilisé comme carburant alternatif ou comme matière première pour l'industrie chimique. Les autres coproduits incluent un effluent liquide et un résidu solide.

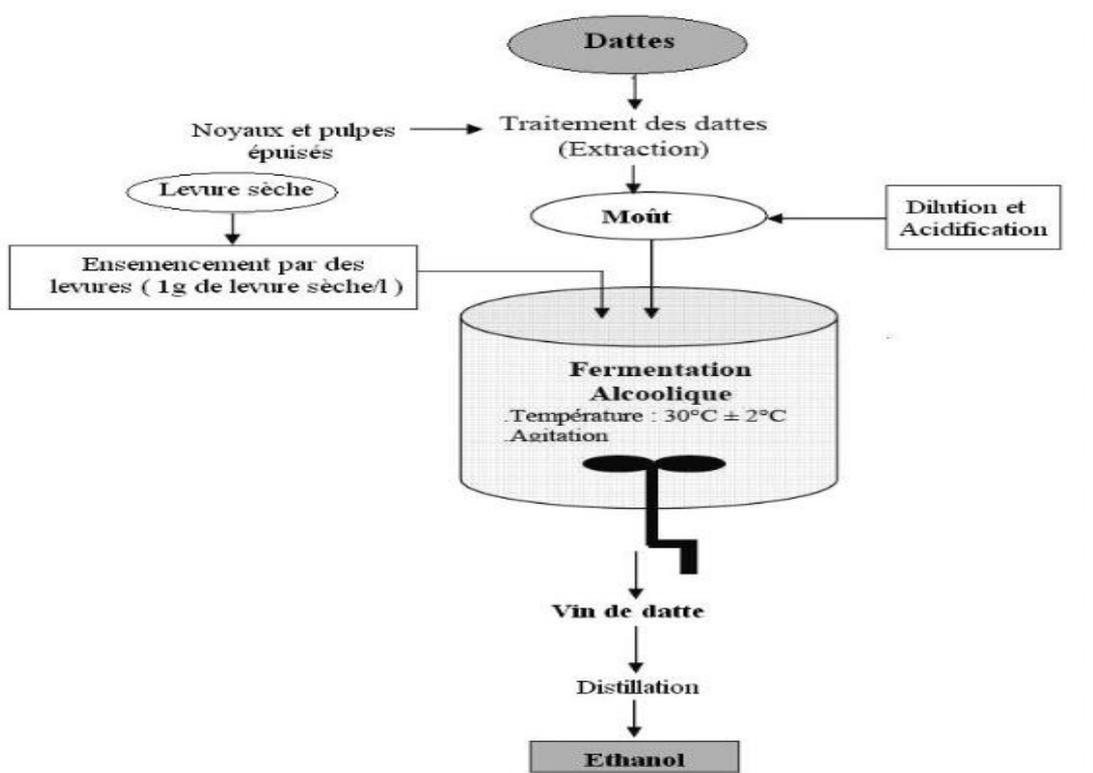
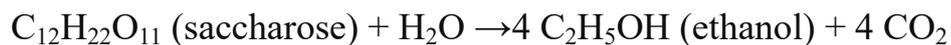


Figure 2.1 : Principales étapes de la fermentation alcoolique [10].

3. Le bioéthanol :

L'éthanol, représenté par la formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, est le résultat de la fermentation des sucres. Le bioéthanol, quant à lui, est une forme d'éthanol produite à partir de la biomasse. Il est obtenu par la fermentation des sucres fermentescibles présents dans la biomasse, en utilisant une levure comme *Saccharomyces cerevisiae*, qui est l'une des souches de levure couramment employées dans ce processus de fermentation des sucres.

Tous les sucres en C6 (6 atomes de carbone) fermentescibles, en particulier le glucose et les saccharoses, peuvent être transformés en éthanol et en dioxyde de carbone lors de la fermentation. Ce processus est anaérobie et catalysé par des micro-organismes tels que les levures. Les équations des réactions de fermentation sont les suivantes :



L'éthanol est produit à partir de sources riches en sucre telles que la betterave et la canne à sucre, ainsi que de sources riches en amidon telles que le blé et le maïs. Son utilisation est principalement destinée aux moteurs fonctionnant à l'essence [11].

a. Composition du bioéthanol :

Il contient environ 35% d'oxygène, ce qui contribue à réduire les émissions de matière particulaire. Son utilisation permet également de réduire les émissions de CO_2 de l'ordre de 7% par rapport à l'utilisation d'essence. En outre, le bioéthanol se distingue par un indice d'octane très élevé [10].

Un indice d'octane élevé indique une grande résistance à la détonation causée par un allumage prématuré, assurant ainsi une performance optimale du moteur, notamment en termes de puissance développée. L'éthanol remplit ce rôle qui était autrefois occupé par les dérivés du plomb présents dans l'essence.

b. Propriétés physico-chimiques du bioéthanol :

Les propriétés physico-chimiques de l'éthanol sont principalement attribuées à la présence du groupe hydroxyle et à sa courte chaîne carbonée. Le groupe hydroxyle permet la formation de liaisons hydrogène, ce qui rend l'éthanol plus visqueux et

moins volatil que d'autres solvants organiques ayant des masses moléculaires similaires [12].

Tableau 2.1 : Propriétés physio -chimiques de l'éthanol [12].

	Éthanol	Essence (standard)
Formule chimique	C ₂ H ₅ OH	C ₇ H ₁₆
Rapport H/C	3	2,29
Masse molaire (g/mol)	46,07	102,5
Densité (kg/m ³)	794	735-760
Chaleur latente de vaporisation (kJ/kg)	854	289
Distillation (°C)	78,4	30-190
PCI (pouvoir calorifique inférieur) massique (kJ/kg)	26805	42690
PCI volumique (kJ/L)	21285	32020
Rapport stœchiométrique	8,95	14,4
RON (indice d'octane recherché)	111	95
MON (indice d'octane moteur)	92	85

L'éthanol est un composé chimiquement stable, présentant toutes les propriétés caractéristiques des alcools, telles que les réactions d'oxydation, de déshydrogénation, de déshydratation et d'estérification. Toutefois, il peut réagir de manière vigoureuse avec des oxydants puissants tels que l'acide nitrique, l'acide perchlorique, les perchlorates, les peroxydes, les permanganates et le trioxyde de chrome [12].

c. Utilisation de bioéthanol :

L'éthanol est utilisé dans divers domaines (figure 2.2) tels que :

- **Solvant** : Utilisé dans l'industrie des peintures, vernis, encres, matières plastiques, adhésifs, parfums, cosmétiques, ainsi que dans l'industrie pharmaceutique.
- **Matière première** : Employé pour la production de nombreux composés, tels que l'acide acétique, l'acrylate d'éthyle, l'acétate d'éthyle, les éthers de glycol, l'éthylamine, l'éthylène, et les éthers-oxydes, notamment l'éthyl-tert-butyl-éther (ETBE).
- **Constituant de carburants** : Peut être utilisé seul ou mélangé avec de l'essence. Les mélanges essence-éthanol contiennent entre 5 et 95 % de bioéthanol, selon les pays. En France, par exemple, la réglementation fixait à 5,75 % le taux d'incorporation de bioéthanol dans l'essence en 2008, pour atteindre 10 % en

2010. La commercialisation d'un carburant contenant 85 % de bioéthanol et 15 % d'essence sans plomb a été autorisée fin 2007, ce carburant alternatif étant composé à 85 % d'éthanol d'origine végétale (E85).

- Désinfectant et biocide.
- Piles à combustibles.
- Composant de boissons alcoolisées. [9].

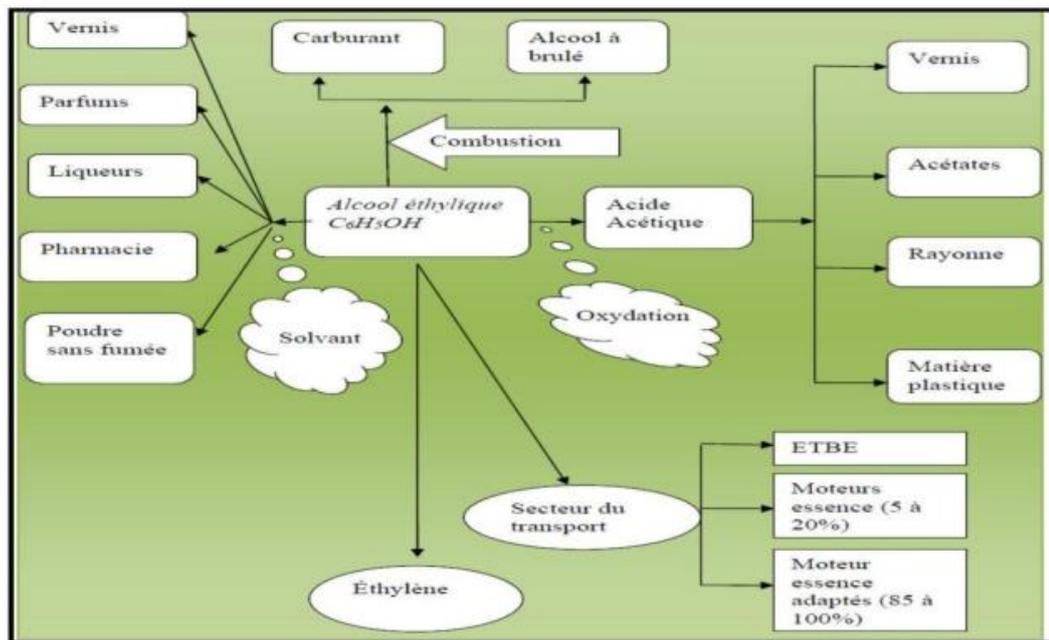


Figure 2.2 : Procédé de production et d'utilisation d'éthanol [9].

d. ETBE (éthyle-tertio butyl-éther) :

L'éthyle-tertio-butyle-éther (ETBE) est un composé dérivé de l'éthanol, synthétisé par réaction entre l'éthanol et l'isobutène, qui est un produit du raffinage du pétrole. Il est couramment utilisé comme additif dans l'essence, à des concentrations d'environ 15 %. L'ETBE présente l'avantage d'être mieux adapté aux moteurs par rapport à l'éthanol pur. En effet, l'incorporation directe d'éthanol dans l'essence pose des défis techniques, notamment une pression de vapeur plus élevée et une tolérance réduite à l'eau. Cependant, il est important de noter que l'ETBE est moins favorable sur le plan environnemental.

L'ETBE peut être fabriqué industriellement à partir de diverses matières premières et par différents procédés, en utilisant de l'éthanol et de l'isobutène, selon la réaction suivante :



L'ETBE est un éther obtenu par la réaction de l'isobutène avec l'éthanol. Pour produire une tonne d'ETBE, on utilise 430 kg d'éthanol et 570 kg d'isobutène. Le rapport Lévy-Couveinhes s'appuie sur les comptes d'exploitation d'un atelier intégré de l'usine de Feyzin de la société Elf, ainsi que sur ceux des unités de production des joint-ventures Nord-ETBE et Ouest-ETBE entre Total et des coopératives agricoles. Ces unités sont situées dans des raffineries du groupe Total et sont exploitées par Total Raffinage Distribution.

La fabrication d'ETBE dans ces joint-ventures implique des transactions multiples entre ces sociétés et les raffineries de Total où elles sont implantées. Les coûts associés reflètent davantage les relations entre Total et ces sociétés que les véritables coûts de production de l'ETBE [13].

e. MTBE (méthyle-tertiobutyl-éther) :

Le MTBE peut être fabriqué industriellement à partir de diverses matières premières et selon différents procédés, en utilisant du méthanol et de l'isobutène, selon la réaction suivante :



L'isobutène est généralement obtenu dans les raffineries de pétrole de manière similaire à la production d'ETBE. Quant au méthanol, dans 90 % des cas, il est produit à partir de gaz naturel.

Le produit fini issu du procédé de l'IFP n'est pas pur. Sa composition moyenne est d'environ 99,2 % de MTBE et 0,8 % de méthanol [13].

f. Génération du bioéthanol :

Il existe trois générations de bioéthanol, chacune étant fondée sur les différentes matières premières ou biomasses utilisées pour sa production.

➤ **Bioéthanol de 1ère génération :**

Le bioéthanol de première génération est produit à partir de matières premières telles que le maïs et la canne à sucre en utilisant des technologies bien établies. Les étapes de la production d'éthanol à partir de cultures riches en sucre et en amidon sont illustrées dans la figure 3 [14].

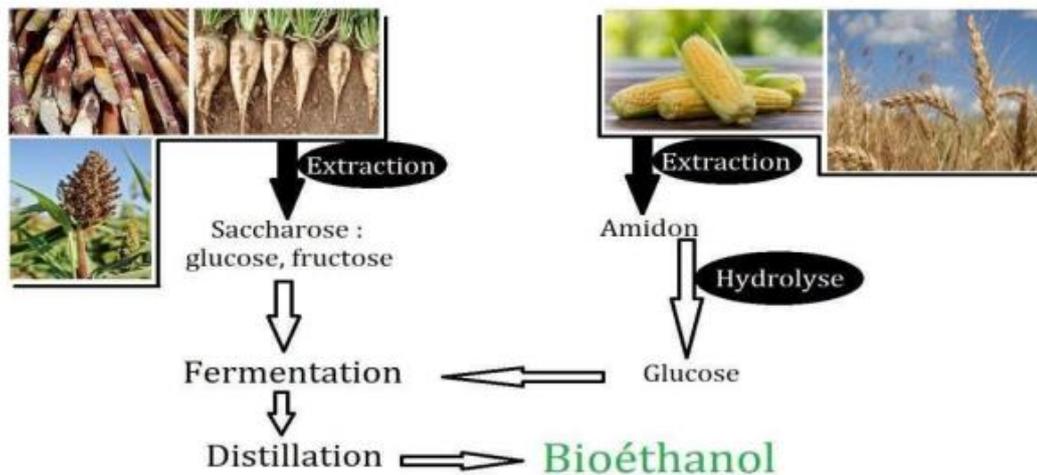


Figure 2.3 : Etapes de production de bioéthanol 1ère génération [14].

➤ **Bioéthanol de 2ème génération**

Le bioéthanol de deuxième génération, également appelé « biocarburant avancé », est produit à partir de matières premières lignocellulosiques et de résidus forestiers et agricoles. Ces matières premières présentent l'avantage d'être abondamment disponibles, contrairement à celles utilisées pour la production de bioéthanol de première génération [15]. Les étapes de production de ce type de bioéthanol sont illustrées dans la figure 4.

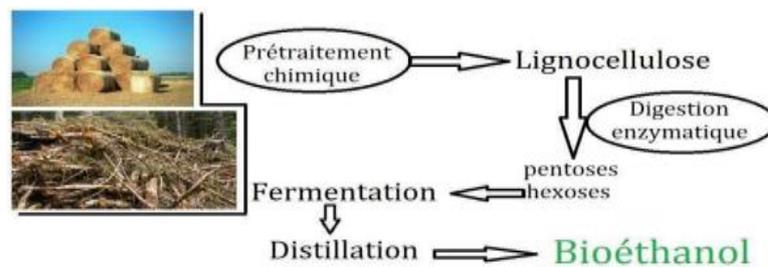


Figure 2.4 : Etapes de production de bioéthanol 2ème génération [15].

➤ **Bioéthanol de 3ème génération**

Le bioéthanol de troisième génération est produit à partir de l'amidon et de la cellulose des algues, en utilisant des processus similaires à ceux de la conversion des sucres en éthanol. Cette production repose principalement sur l'utilisation de microorganismes, tels que les microalgues.

La biomasse des algues peut être exploitée pour produire une variété de biocarburants, y compris l'hydrogène, le diesel, l'isobutane et l'éthanol [16]. Les étapes de ce processus sont illustrées dans la figure 2.5.

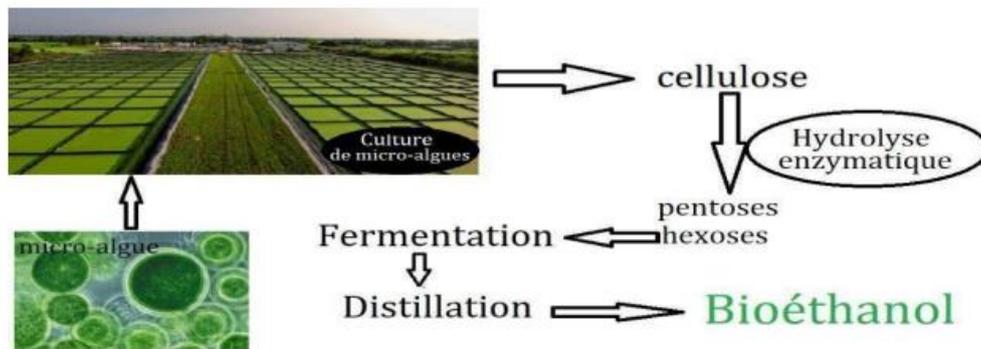


Figure 2.5 : Etapes de production de bioéthanol 3ème génération [16].

g. Les avantages et les inconvénients de bioéthanol :

- **Les avantages** de l'éthanol par rapport à l'essence sont les suivants :
- Il se mélange bien avec l'essence.
 - Il possède un indice d'octane très élevé.
 - Son rapport hydrogène/carbone (H/C) est plus élevé, ce qui signifie que, pour une même quantité d'énergie, les émissions de CO₂ sont réduites.
 - Il a un impact environnemental moindre lors de la combustion, avec une réduction des émissions de CO₂ et une consommation moindre d'hydrocarbures.
- **Les inconvénients** de l'éthanol par rapport à l'essence sont les suivants :

- Son Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) est inférieur d'environ un tiers par rapport à celui de l'essence.
- L'ajout d'éthanol dans l'essence entraîne une augmentation de la tension de vapeur, surtout dans les mélanges contenant entre 0 et 40 % d'éthanol.
- Il existe des risques de démixtion en présence d'eau, pouvant conduire à la séparation des phases essence et alcool dans le mélange.

En outre, dans certains contextes spécifiques et plus restreints, la production d'esters méthyliques et éthyliques à partir d'huiles et de graisses animales est également à l'étude. De plus, les technologies développées par l'industrie pétrolière pourraient être adaptées et utilisées dans le traitement des huiles végétales [12].

4. La production d'électricité à partir de bioéthanol :

La conversion du bioéthanol en électricité représente une solution innovante et durable pour répondre à la demande énergétique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Le processus implique plusieurs étapes, allant de la production du bioéthanol à sa conversion en énergie électrique, et peut être utilisé à travers différentes technologies.

- **Moteurs à Combustion Interne** : Le bioéthanol peut être utilisé comme carburant dans des moteurs à combustion interne. Ces moteurs sont similaires à ceux utilisés dans les générateurs à essence, où le moteur entraîne un alternateur pour produire de l'électricité.
- **Turbines à Gaz** : Dans les turbines à gaz, le bioéthanol est vaporisé et mélangé avec de l'air avant d'être brûlé dans une chambre de combustion. La chaleur produite fait tourner la turbine, qui entraîne un générateur électrique.
- **Cellules à Combustible** : Les cellules à combustible utilisant du bioéthanol sont une technologie émergente. Le bioéthanol est réformé pour produire de l'hydrogène, qui alimente ensuite la pile à combustible. Cette pile convertit l'hydrogène en électricité avec une efficacité élevée et de faibles émissions.

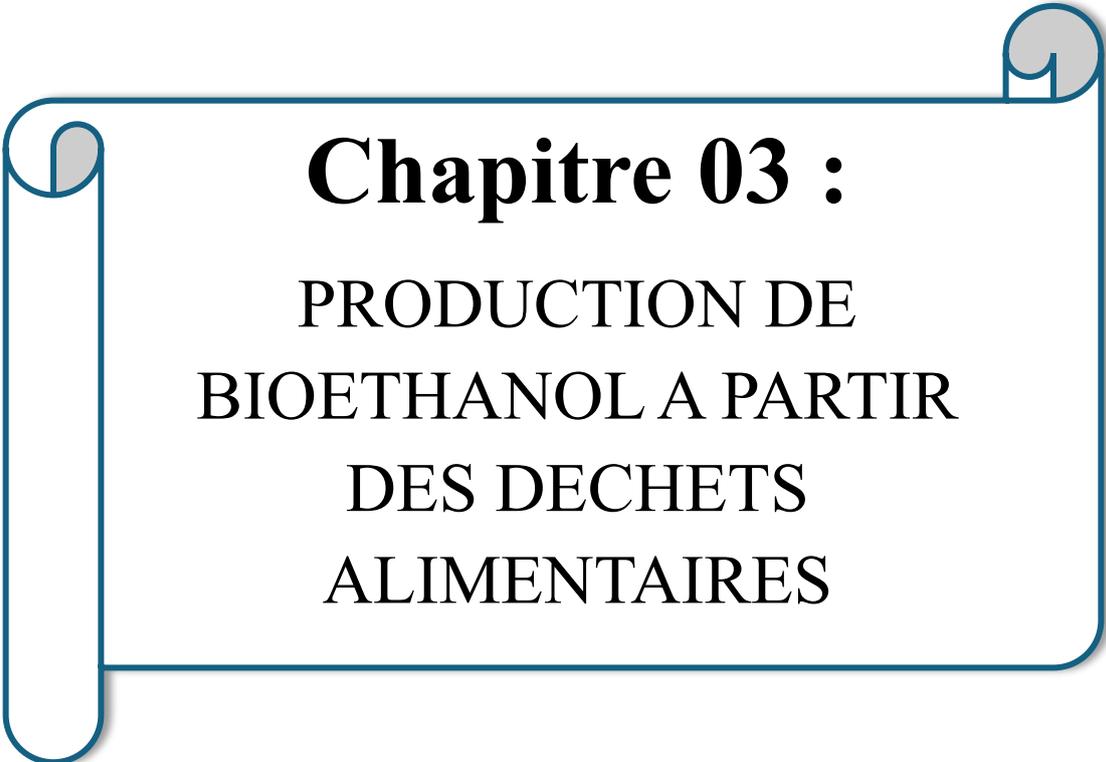
5. Conclusion :

En conclusion, la fermentation alcoolique est un processus essentiel dans de nombreux aspects de la vie quotidienne et de l'industrie. Sa compréhension continue et son application judicieuse peuvent contribuer à divers domaines, allant de la production alimentaire à la recherche de solutions durables pour la production d'énergie.

6 References bibliographiques:

- [1] Pasteur, Louis. "Études sur la bière." Annales de chimie et de physique .
- [2] Barnett, James A. "A history of research on yeasts 2: Louis Pasteur and his contemporaries, 1850-1880."
- [3] Duclaux, Émile. "Louis Pasteur. His life and labours." Nature 15.
- [4] Catchipole , O., ET AL. Extraction of Lip id from fermentation biomass using near-critical dimethyl ether the journal of supercritical fluids , 2010.
- [5] Chanakya, h.n., et al., fermentation properties of agro-residues, leaf biomass and urban market garbage in a solid phase biogas fermenter. biomass and bioenergy, 1999.
- [6] Yuan, q. and j.a. oleszkiew icz, biomass fermentation to augment biological phosphorus removal. chemo sphere, 2010.
- [7] Wang, j., t. yu, and c. jin, on-line estimation of biomass in fermentation process using support vector machine. chinese journal of chemical engineering, 2006.
- [8] Munasinghe, p.c. and s.k. khalil, biomass-derived syngas fermentation into biofuels : opportunities and challenges . bioresource technology, 2010.
- [9] KHELFA , A . 2006.Thèse de Doctorat : Etude Des Etapes Primaires De La Dégradation Thermique De La Biomasse Lignocellulosique : Université Paul Verlaine Metz (France).
- [10] A. Boulal*, B. Benali, M. Moulai et A. Touzi,'Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol', Revue des Energies Renouvelables Vol.

- [11] Souliman I, A, 2018 . Mémoire de fin d'étude de master valorisation énergétique des déchets des dattes a partir de la fermentation alcoolique suivi par la digestion anaérobie : université d'Adrar .
- [12] Bounoua, F; 2017. Production de bioéthanol à partir des déchets de l'industrie de transformation de pomme de terre. Chimie et environnement.
- [13] Thodja Farouk Boumediène Etude Surlo Valorisation Energétique Par Conversion Biomasse De Boues Résiduelles Urbaines-Cas De La Station D'épuration OnaTlemcen,23/06/2014.
- [14] Kamal Hadj Ali. Etude Cinétique De L'oxydation Et De L'auto-Inflammation En Milieu Gazeux Homogène Pauvre Et Ultra Pauvre De Carburants De Substitution Issus De La Biomasse. Chemical Sciences. Université Des Sciences Et Technologie De Lille - Lille I, 2007.France.
- [15] Akbi A., 2013. Les implications du développement des biocarburants. Thèse de doctorat, Ecole doctorale Droit Et Sciences Politiques, Économiques et de Gestion Nice, Paris.
- [16] Kechkar, M et Aziza, M; 2012. Le bioéthanol. Revue des EnergiesRenouvelables, SIENR'12 Ghardaïa.



Chapitre 03 :
PRODUCTION DE
BIOETHANOL A PARTIR
DES DECHETS
ALIMENTAIRES

1. INTRODUCTION

Le bioéthanol est un biocarburant produit à partir de matière première renouvelable, il pourrait servir avantageusement de remplacement aux énergies fossiles, pour autant qu'il puisse être produit en respectant les normes industrielles et économiques requises par les sociétés modernes.

Le bioéthanol est une forme d'éthanol produite à partir de sources biologiques et agricoles, par fermentation du sucre extrait de plantes comme la betterave ou la canne à sucre, ou par hydrolyse enzymatique de l'amidon présent dans des céréales telles que le blé ou le maïs. Il est utilisé comme carburant dans les moteurs à essence.

Les plantes riches en saccharose (comme la betterave et la canne à sucre) ou en amidon (telles que le blé et le maïs) peuvent être transformées pour produire du bioéthanol. Cette filière de production du bioéthanol est généralement désignée sous le terme de filière "sucre".

La production de bioéthanol par fermentation alcoolique, une réaction biologique, se déroule exclusivement dans des cuves agitées. Ce principe s'applique également à toute réaction enzymatique. Dans le présent travail, une expérience de production de bioéthanol à partir des différents déchets alimentaires est menée au niveau du laboratoire de ESSA pour prévoir caractériser notre produit final.

2. Matériels utilisés :

Le rota vapeur, aussi connu sous le nom d'évaporateur rotatif, est un équipement employé en pour distiller efficacement des solvants. Son objectif est de concentrer partiellement une solution ou de procéder à une concentration à sec, où tout le solvant est retiré, que ce soit pour une solution ou une suspension.

L'évaporateur rotatif fonctionne sur le principe de la distillation sous vide partielle. La solution est placée dans un récipient en rotation pour augmenter la surface d'évaporation, puis la pression est réduite, généralement à l'aide d'une pompe à eau. La combinaison de la rotation et du vide permet l'évaporation à des températures plus basses que celles requises pour les solutions à évaporer [1,2].

Il est constitué notamment :

- Bain-marie

- Thermostat
- Ballon contenant le solvant à extraire
- Conduit de vapeur
- Bouton pour le réglage de la vitesse de rotation du ballon
- Réfrigérant
- Ballon récepteur du solvant extrait
- Robinet de mise sous vide

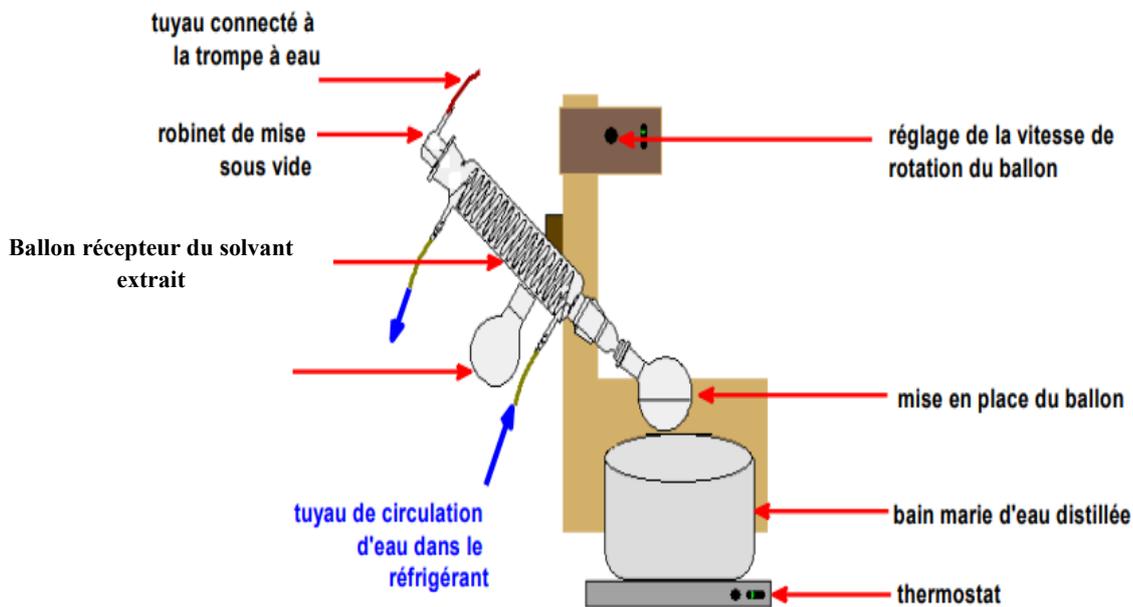


Figure 3.1 : Le schéma d'un évaporateur à rotatif [1].

Table 3.1 : Les matériels et les produits utilisés.

Les matériels	Les produits
<ul style="list-style-type: none"> • Les béchers de 500ml. • L'éprouvette de 100ml. • Une balance. • Un évaporateur rotatif. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solvant de déchets des pommes. • Solvant de déchets de petit pois. • Solvant de déchets d'écorce d'orange.

3. Le principe de la technique :

Le phénomène d'évaporation est un processus employé au milieu laboratoire pour concentrer des solutions en éliminant les solvants à une basse température et sous vide. Voici les étapes clés du processus :

- **Préparation de la solution** : La solution à concentrer est ajoutée dans le ballon récepteur de l'évaporateur rotatif.
- **Chauffage et agitation** : Le ballon d'alimentation est chauffé de manière progressive tout en étant continuellement agité par un mouvement rotatif. Cette action favorise l'évaporation uniforme du solvant de la solution.
- **Vaporisation** : Pendant que la solution est chauffée et agitée, le solvant s'évapore et forme une vapeur. La rotation du ballon assure un renouvellement constant de la surface de la solution, favorisant ainsi une évaporation plus rapide et plus efficace.
- **Condensation et récupération** : A cette étape, la vapeur de solvant produite est dirigée vers un condenseur où elle est refroidie, entraînant sa reconversion en liquide. Le solvant liquide ainsi récupéré peut être collecté dans un récipient séparé.
- **Récupération du produit concentré** : Pendant ce processus, les solutés non volatils demeurent dans le ballon d'alimentation, se concentrant davantage. Une fois que la quantité souhaitée de solvant a été évaporée, le concentré restant peut être récupéré dans le ballon.



Figure 3.2 : L'évaporateur rotatif utilisé au niveau de labo d'ESST.

En résumé, il s'agit d'une distillation simple : le liquide bout, les vapeurs se condensent dans le réfrigérant, et le solvant est recueilli dans le ballon de récupération. Pendant ce processus, le soluté, se dépose sur les parois du ballon principal.

La basse pression utilisée permet de réduire la température d'ébullition du solvant, accélérant ainsi l'évaporation et évitant tout risque de dégradation thermique éventuelle du produit.

➤ **Intérêt de travailler sous pression réduite :**

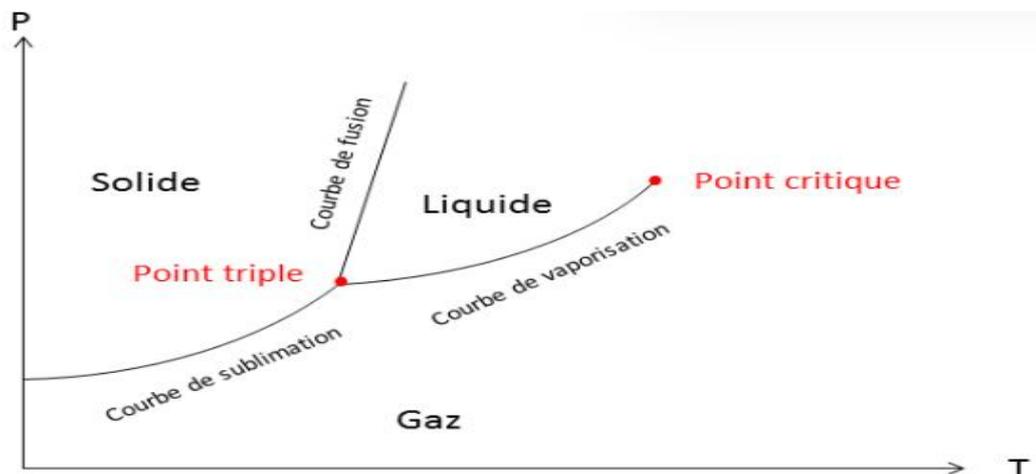


Figure 3.3 : Diagramme Pression-Température du corps pur.

On remarque sur le diagramme que la température d'ébullition diminue si la pression diminue (Figure 3.3).

Des abaques sont disponibles pour déterminer la température d'ébullition d'un produit en fonction de sa température à pression atmosphérique et de la pression régnant dans l'enceinte.

En plaçant le montage d'évaporation sous une pression réduite, on parvient à abaisser la température d'ébullition des composants du mélange, notamment celle du solvant à évaporer. Cette méthode permet de réduire la quantité de chaleur nécessaire pour l'évaporation du solvant. Un bain thermostaté est utilisé en raison du caractère endothermique de l'évaporation ; sans cela, la température à l'intérieur du ballon diminuerait rapidement, entraînant la formation de givre. La

rotation du ballon assure une distribution uniforme de la chaleur dans le mélange à évaporer.

L'évaporateur rotatif permet une évaporation rapide du solvant à une température relativement basse.

L'évaporation est considérée comme terminée lorsque :

- ✓ Le volume de solvant récupéré dans le ballon du solvant extrait cesse d'augmenter.
- ✓ Lorsque la masse du contenu du ballon de solvant à extraire reste constante.

Après évaporation du solvant, on obtient soit :

- ✓ Un solide si le produit synthétisé est solide à température et pression ambiante.
- ✓ Une huile si le produit synthétisé est liquide à température et pression ambiantes.

4. Les solutions alcooliques utilisées :

Les déchets alimentaires riches en composants organiques, notamment en polysaccharides, peuvent spécifiquement être détournés vers la production d'éthanol, car leurs produits hydrolytiques tels que le glucose et la xylose peuvent être facilement convertis en éthanol. Pour cela nous avons choisi différents types de déchets :

- ✓ **L'écorce d'oranges :** Les écorces d'oranges sont une source de biomasse renouvelable, ce qui signifie qu'elles peuvent être régénérées plus rapidement que les combustibles fossiles.
- ✓ **Les pommes :** Les déchets de pomme peuvent être transformés en biocarburants liquides, tels que l'éthanol, par des processus de fermentation.
- ✓ **Les petits pois :** Les déchets de petits pois peuvent également être valorisés en biocarburants liquides, comme l'éthanol par fermentation.

5. Etapes expérimentales :

Pour une première étape, nous avons donc commencé par mettre les différents types de déchets (**pommes, petit pois, écorces d'oranges**) naturellement riches en sucres, en levures et qui ont été fondues et introduites dans des bouteilles. Puis, nous avons également collecté un peu d'eau pour mouiller les déchets et les broyant d'une bouillie plus homogène, moins aérée et plus facile à fermenter. Nous avons ensuite posé un couvercle sur les bouteilles, sachant que nous avons mis deux bouteilles séparées pour chaque type de déchets.

Après un certain temps (**60 jours pour la 1ère bouteille et 70 jours pour la deuxième**), une forte odeur d'alcool mais aussi de vinaigre se dégageait des mélanges, à ce stade, pour éviter une fermentation ascétique nous avons arrêté le processus.



Figure 3.4 : Les solutions alcooliques obtenues.

Pour prendre le bioéthanol, il faut d'abord passé par la deuxième étape qui se focalise sur le travail au niveau de laboratoire d'ESSAT avec les moyens de protection et les matériels utilisés :

- On a mesuré une quantité de 200ml de solution alcoolique obtenue dans un bécher de 500ml, et on la met dans le ballon de l'évaporateur rotatif.



Figure 3.5 : La solution alcoolique.

- D'un autre côté, on a chauffé de l'eau du Bain-marie en réglant sa température à l'aide du thermostat et attendre que cette température sera adaptée au point d'ébullition du solvant à évaporer.
- On met en route la circulation d'eau dans le réfrigérant.
- Ensuite, on a fixé le ballon contenant la solution alcoolique et on met en route la rotation du ballon.



Figure 3.6 : Le ballon contenant la solution alcoolique.

- Puis, On a allumé le dispositif permettant d'abaisser la pression (**pompe à eau**).
- On a fermé la vanne pour mettre le montage sous pression réduite.
- Et finalement, on a abaissé le ballon contenant le mélange à évaporer dans le bain-marie (**Le niveau de l'eau dans le bain-marie doit être aligné approximativement avec celui du liquide**).

A la fin d'évaporation on a obtenus de bioéthanol et pour pouvoir retirer le ballon contenant le solvant à évaporer du bain-marie on a réalisé les opérations ci-dessus en sens inverse :

- Il faut d'abord ouvrir la vanne pour rétablir la pression atmosphérique dans le montage.
- Puis, Arrêter le dispositif abaissant la pression (**La pompe à eau**).
- Interrompre la rotation du ballon et détacher le ballon du dispositif.
- Arrêter la circulation d'eau dans le réfrigérant.
- Enfin, éteindre le chauffage du bain-marie.

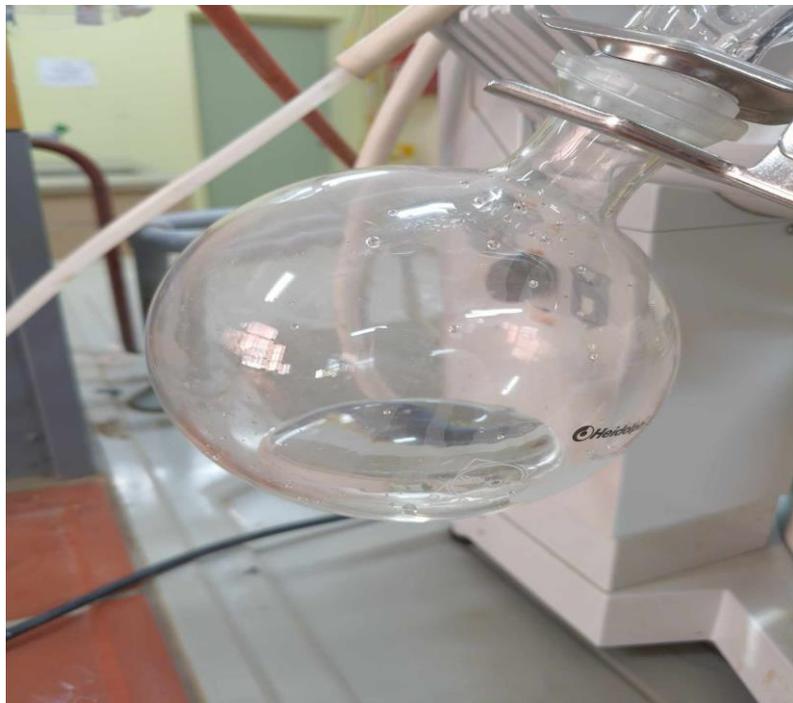


Figure 3.7 : Le bioéthanol obtenue.

6. Résultats et discussions :

- **La masse volumique de bioéthanol :**

La masse volumique, appelée aussi la densité, est une mesure de la quantité de masse présente dans une unité de volume d'une substance donnée. Elle est définie comme la masse d'une substance par unité de volume.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Où :

ρ : représente la masse volumique en unités de masse par unité de volume (g/cm³, kg/m³, etc.)

m : est la masse de la substance en grammes ou en kilogrammes.

v : est le volume de la substance en centimètres cubes (cm³) ou en mètres cubes (m³).

Pour la masse volumique de bioéthanol, elle dépend de sa concentration en éthanol et de sa température. C'est-à-dire à une température de référence de 20°C, la masse volumique du bioéthanol pur (100% d'éthanol) est d'environ 0,789 g/cm³ ou 789 kg/m³ [4]. Cependant, si le bioéthanol est mélangé avec de l'eau ou d'autres composants, sa masse volumique variera en fonction de la proportion d'éthanol dans le mélange.

- **Le rendement :**

$$\eta = \frac{v}{v'} \times 100$$

η : le rendement

v : le volume de bioéthanol

v' : le volume de la solution alcoolique

Table 3.2 : Les résultats obtenus de la production de bioéthanol.

Les déchets	m (g) (La masse de bioéthanol)	v (cm³) (Le volume de bioéthanol)	ρ (g/ cm³) (La masse volumique de bioéthanol)	η (%) (Le rendement)
L'écorce d'oranges (60 jours)	49,6	58	0,84	29
L'écorce d'oranges (70 jours)	52,5	63	0,83	31
Les pommes (60 jours)	32,2	39	0,82	19
Les pommes (70 jours)	45,4	56	0,81	28
Les petits pois (60 jours)	31,8	38	0,83	19
Les petits pois (70 jours)	42,5	52	0,81	26

Le tableau présente les résultats obtenus de la production de bioéthanol à partir de 3 types de déchets différents : les écorces d'oranges après 60 et 70 jours de fermentation, les pommes après 60 et 70 jours de fermentation, et les petits pois après 60 et 70 jours de fermentation.

En analysant les résultats obtenus avec différents substrats, on peut faire les observations suivantes :

- **Les écorces d'oranges** : sont le meilleur substrat pour la production de bioéthanol. Elles produisent une masse de bioéthanol (52,5 g après 70 jours de fermentation) et leur rendement est le plus élevé (31% après 70 jours de fermentation).
- **Les pommes** : se positionnent comme le deuxième meilleur substrat pour la production de bioéthanol. Elles produisent une quantité de bioéthanol comparable à celle des écorces d'orange (45,4 g après 70 jours de fermentation) mais avec un rendement légèrement inférieur (28% après 70 jours de fermentation).
- **Les petits pois** : Les petits pois se révèlent être le substrat le moins efficace pour la production de bioéthanol. Ils génèrent la plus faible quantité de bioéthanol (42,5 g après 70 jours de fermentation) et présentent le rendement le plus bas (26% après 70 jours de fermentation).

Pour la masse volumique de bioéthanol (ρ) : Les résultats indiquent que la valeur reste relativement stable pour tous les échantillons des déchets, variant entre 0,81 g/cm³ et 0,84 g/cm³, cela signifie que le bioéthanol produit à partir de ces types de déchets est relativement pur et contient peu d'impuretés par comparaison avec la masse volumique de l'alcool pur (0,789 g/cm³).

7. Conclusion :

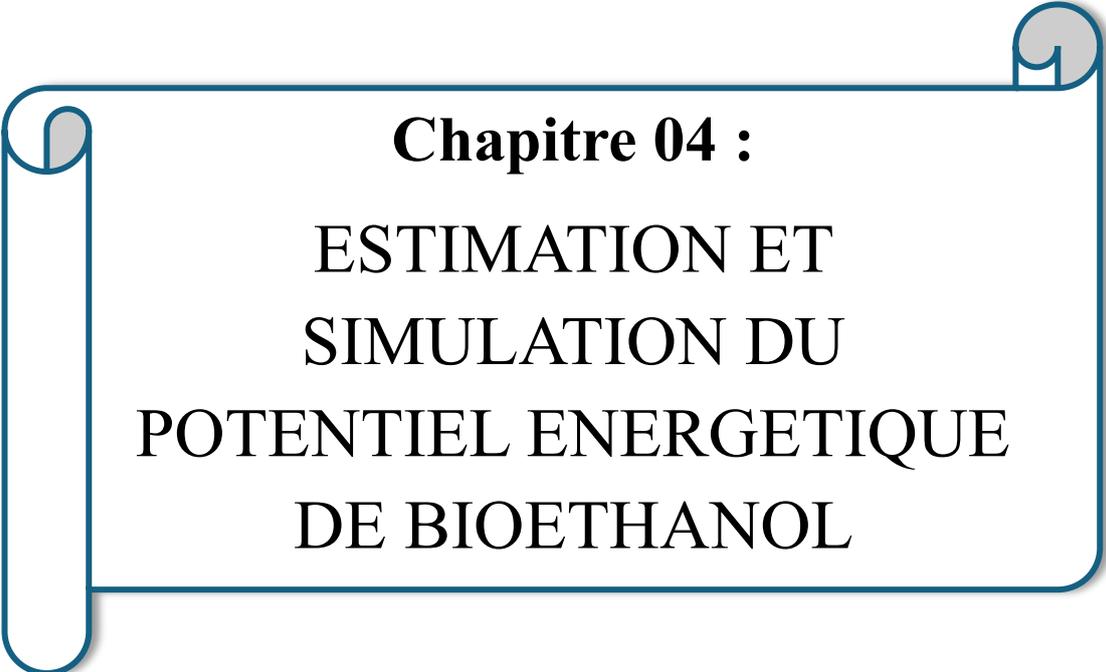
Pour conclure, on peut dire que les écorces d'oranges se révèlent être le substrat le plus prometteur pour la production de bioéthanol, tant en termes de quantité produite que de rendement. Les pommes suivent de près, tandis que les petits pois sont moins efficaces. La stabilité de la masse volumique du bioéthanol à travers différents substrats indique une qualité constante et élevée du produit final.

Ces résultats démontrent le potentiel des déchets organiques comme matière première pour la production de bioéthanol, offrant une voie pour valoriser les déchets tout en produisant une énergie renouvelable. Pour maximiser la production de bioéthanol, il est recommandé de se concentrer sur des substrats comme les écorces d'oranges et d'optimiser la durée de fermentation.

8. Références bibliographiques:

[1] Rotary Evaporators: A User's Guide", □ Jean-Claude Bradley, Andrew Lang, Journal of Chemical Education .2009 10.1021/ed086p473.

[2] **le nom de l'auteur** "Optimization and Application of Rotary Evaporators in Modern Chemistry", Chemical Engineering & Technology 2012, 10.1002/ceat.201200123



Chapitre 04 :
ESTIMATION ET
SIMULATION DU
POTENTIEL ENERGETIQUE
DE BIOETHANOL

1. Logiciel utilisé :

➤ Historique :

Il semble que le logiciel GSP ait été initialement développé en 1986 à l'Université technique de Delft (TUD), au sein du département aérospatial. Ce logiciel a été créé pour répondre aux limitations et aux problèmes de stabilité numérique de DYNGEN, un programme de simulation de moteurs à réaction et à double flux de la NASA.

GSP a été conçu pour conserver les fonctionnalités de DYNGEN tout en améliorant ses faiblesses, notamment en matière de stabilité, de vitesse des processus d'itération numérique et d'interface utilisateur. Au fil du temps, des améliorations, ajustements et extensions ont été ajoutés à GSP pour permettre une simulation pratique des moteurs à réaction génériques [1].

Le développement de GSP a ensuite continué au sein de l'Institut national de recherche aérospatiale des Pays-Bas (NLR). Le programme a d'abord été converti en FORTRAN77, puis, avec l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs de bureau à des prix abordables, il a été porté sur Borland Delphi, un environnement de développement logiciel orienté objet. Delphi a permis une adaptation rapide et offrait des moyens efficaces pour maintenir et étendre les fonctionnalités du programme.

Ces informations donnent un aperçu du contexte et de l'évolution du développement du logiciel GSP, depuis son origine à l'Université technique de Delft jusqu'à son utilisation continue et son amélioration au NLR.

➤ Définition :

Le programme de simulation de turbine à gaz, également connu sous le nom de "Gas Turbine Simulation Programme" (GSP), est un logiciel conçu pour modéliser et simuler le fonctionnement des turbines à gaz. Ces dispositifs produisent de l'énergie mécanique en brûlant du gaz combustible [2].

GSP permet de simuler les performances d'une turbine à gaz sous diverses conditions de fonctionnement, en tenant compte de paramètres tels que la température d'entrée du gaz, la pression, le débit massique, le type de combustible utilisé et les caractéristiques spécifiques de la turbine. En utilisant ces données, le logiciel effectue des calculs et des simulations pour estimer les performances de la turbine à gaz, y

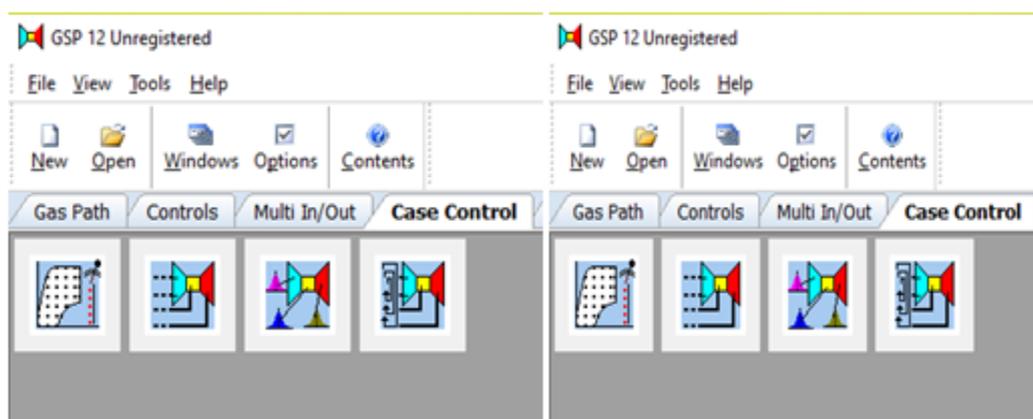
compris son rendement énergétique, sa puissance de sortie, sa consommation de carburant et les températures de sortie [1].

Ce programme de simulation peut être appliqué dans plusieurs domaines, tels que la conception de turbines à gaz, l'optimisation des performances, l'analyse de scénarios de charge, l'évaluation des performances énergétiques et la formation des opérateurs. Il aide les ingénieurs et les professionnels à mieux comprendre le comportement d'une turbine à gaz dans différentes conditions, permettant ainsi de prendre des décisions éclairées pour améliorer son fonctionnement et son efficacité.



Figure 4.1 : Présentation de logiciel GSP 12

Il semble que, dans le cas spécifique du logiciel GSP 12, les utilisateurs aient la possibilité de personnaliser leur simulation de turbine à gaz en construisant le moteur à turbine à gaz souhaité à partir d'une liste de composants prédéfinis. Ces composants peuvent inclure des éléments tels que le compresseur, la chambre de combustion, la turbine, les échangeurs de chaleur et les conduites [1].



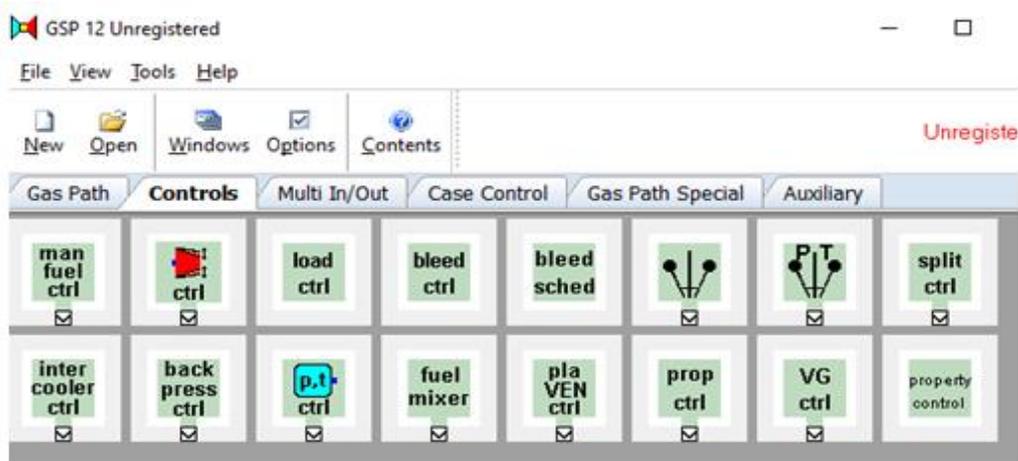


Figure 4.2 : Les composants du logiciel

2. Estimation des quantités de déchets utilisés :

La quantité totale des déchets par jour dans le centre d'enfouissement de Tlemcen est la somme des quantités des déchets des différentes régions est égal à **285530 kg/j** (285.53 tonnes par jour) [3].

Les déchets contiennent environ 60 % de matière organique, donc la quantité de la matière organique dans ces déchets serait donc de **171 Tonnes/j** [4] [5].

3. Application du logiciel GSP12 :

Pour commencer, ouvrez le projet "TJET" en utilisant le modèle de turbine à gaz dans le logiciel. Ce projet particulier est basé sur le modèle de turbine à gaz disponible dans le projet d'exemple intitulé "Sampleproject".

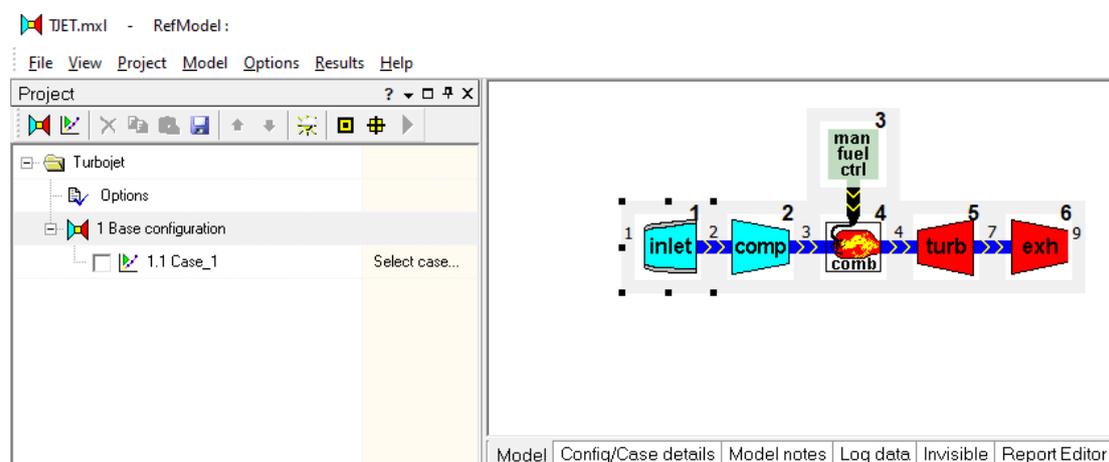


Figure 4.3 : Modèle de la turbine a gaz dans le GSP 12

Dans le modèle choisi de turbine à gaz, chaque composant possède des entrées et des sorties spécifiques. Il est possible de modifier les paramètres de chaque composant en fonction des données relatives au biogaz produit dans la station [6].

3.1 L'entrée de turbine à gaz (Inlet) :

Dans notre cas, le débit massique de bioéthanol circulant à travers ce composant de la turbine à gaz par unité de temps est de 0,049 kg/s.

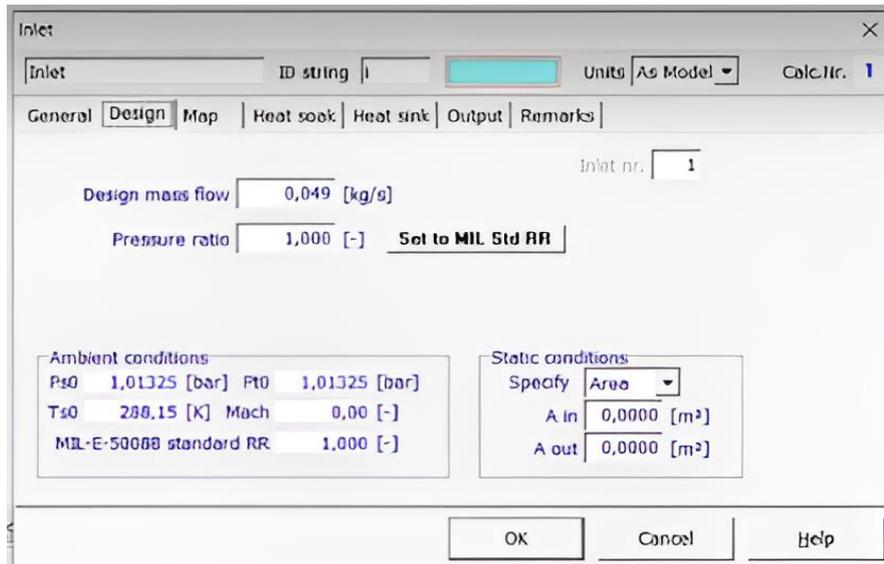


Figure 4.4 : L'entrée de la turbine à gaz sur GSP12

3.2 Le compresseur (comp):

On a pris la vitesse du rotor par défaut.

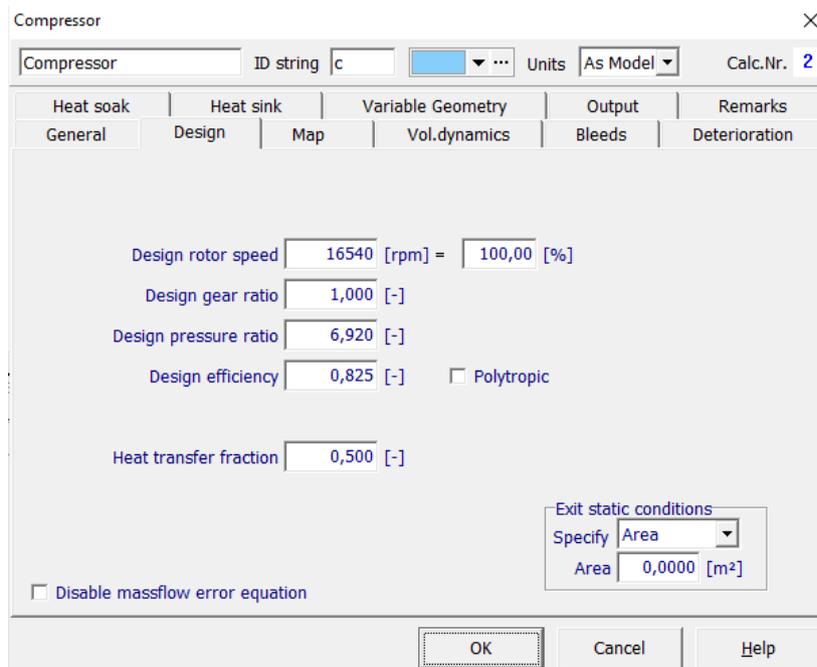


Figure 4.5: Fenêtre de compresseur

3.3 La chambre de combustion (comb) :

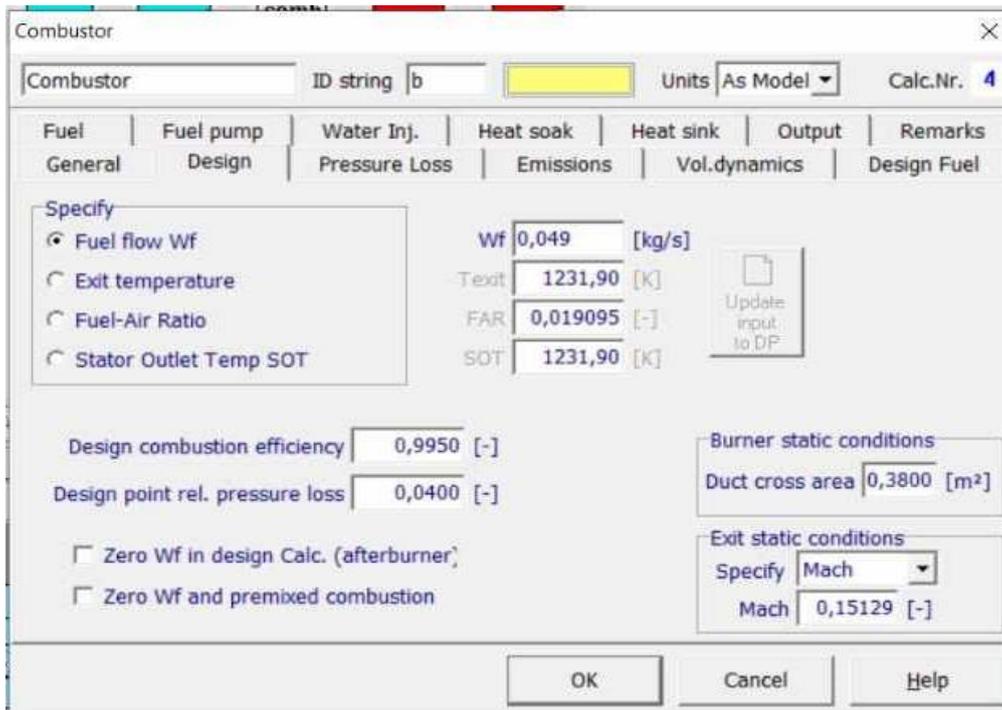


Figure 4.6: Fenêtre de la chambre de combustion.

Le choix des caractéristiques de l'éthanol :

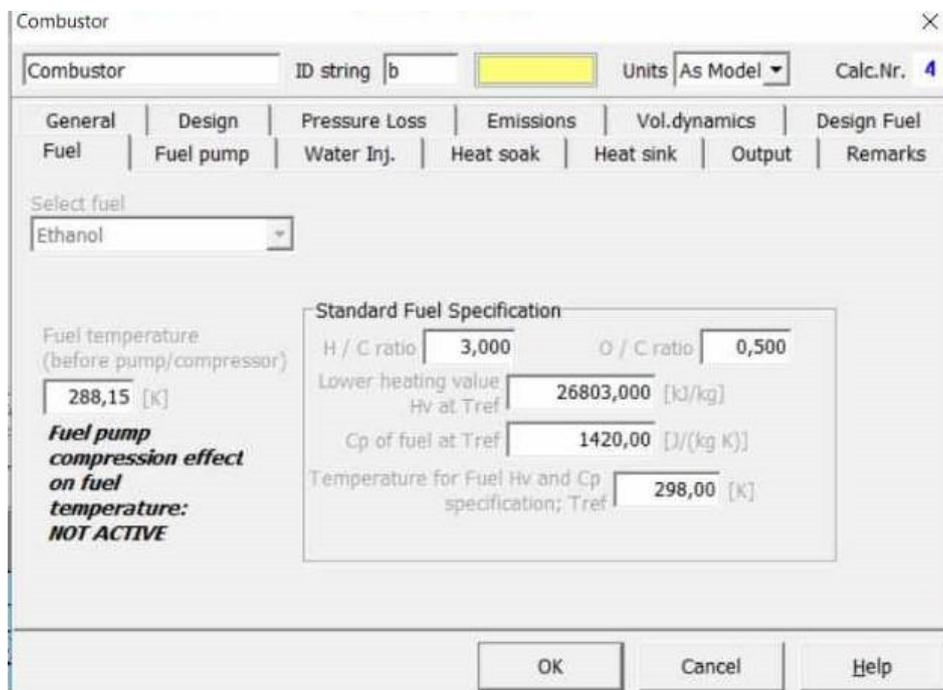
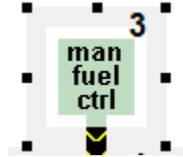


Figure 4.7 : Le choix du carburant utilisé dans la chambre de combustion

3.4 Le contrôleur du carburant (man fuel ctrl) :

Le composant de contrôle du débit de carburant est une partie essentielle d'un système de combustion. Il est chargé de réguler la quantité de carburant fournie au processus de combustion, en fonction des besoins et des paramètres spécifiques du système.



- La turbine :

Le choix des paramètres d'entrée et de sortie

Turbine ×

Turbine ID string t Units As Model Calc.Nr. 5

Variable Geometry		Output		Remarks				
General	Design	Map	Vol.dynamics	Cooling	Deterioration	Heat soak	Heat sink	
Design rotor speed		16540 [rpm]	=	100,00 [%]	D tip			0 [m]
Design gear ratio		1,000 [-]						
Design efficiency		0,880 [-]	<input type="checkbox"/> Polytropic					
Power delivered to shaft in design point				All required				
<input checked="" type="radio"/> All required		<input type="radio"/> Torque		0,000				
<input type="radio"/> Part of req. pwr.		<input type="radio"/> PR (PtOut/PtIn)						
<input type="radio"/> Power		<input type="radio"/> TR (TtOut/TtIn)		Expansion heat loss fraction				0,500 [-]
Design External load / PTO				Exit static conditions				
<input type="checkbox"/> Calculate max. Design load		<input checked="" type="radio"/> Power		0,00 [kW]		Specify Area		
exit to ambient rel. press.drop		0,000 [-]		<input type="radio"/> Torque		0 [N m]		
						Area		0,0000 [m ²]
<input type="checkbox"/> Disable massflow error equation								

OK Cancel Help

Figure 4.8 : Les caractéristiques d'entrée de la turbine

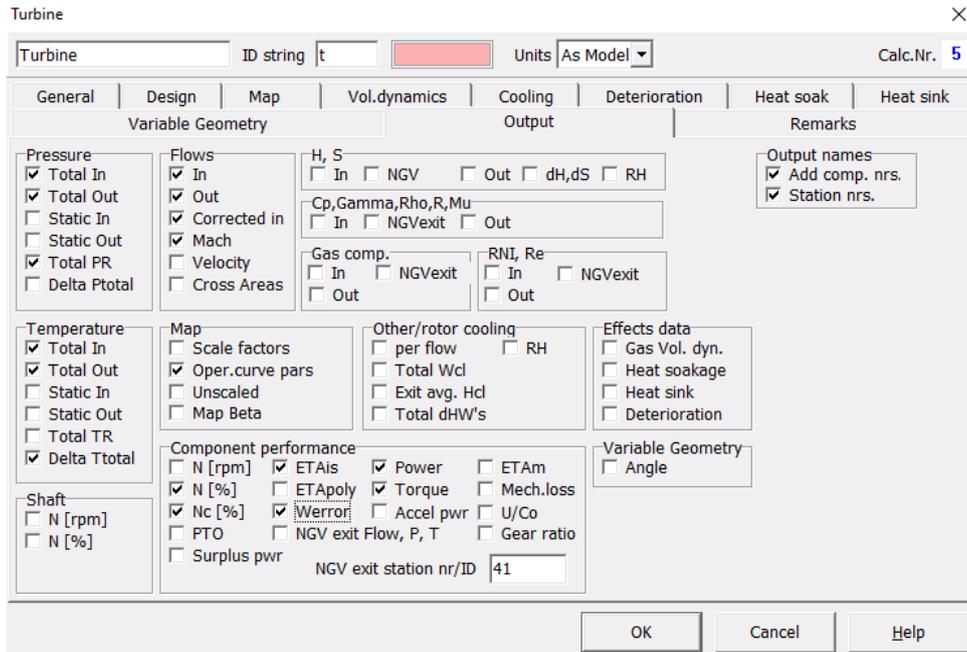


Figure 4.9 : Les caractéristiques de sortie de la turbine.

3.5 L'échappement (exh) :

L'échappement de la turbine fait référence aux gaz qui sont expulsés par la turbine après avoir été utilisés pour produire de l'énergie mécanique. Dans le contexte d'une turbine à gaz, ces gaz d'échappement chauds sont libérés dans l'environnement à la sortie de la turbine.

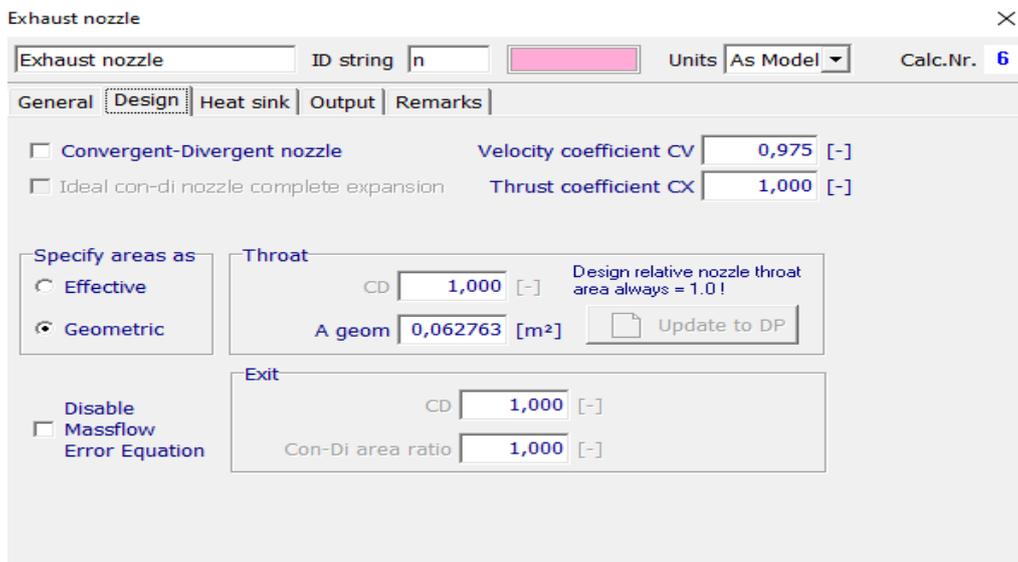


Figure 4.10 : La fenêtre d'échappement

	population	Déchets ménagers kg /j
Tlemcen	162182	99550
Mansourah	70701	50250
Chetouane	74111	44250
Amieur	13312	8420
Hennaya	36944	24550
Ain fezza	9869	6890
Remchi	48729	31280
Ouled Riah	4329	2960
zenata	4011	3000
Ben sakrane	12666	9440
Oued lkhdar	6594	4940

Tableau 4.1 : La quantité des déchets pour chaque région

Dans notre travail, nous avons utilisés une quantité de déchets de 750g de matières organique (voir chapitre 3), pour obtenir une quantité de **113,6g** (dans 60jours) et **140,6g** (dans 70 jours) de bioéthanol.

Ce qui implique que pour **171tonnes/j** des matières organique des déchets d'enfouissement de centre de Tlemcen la conversion en bioéthanol est **0,43168 tonnes/j** (dans 60 jours) et **0,45795 tonnes/j** (dans 70 jours).

Cela donne, que le débit massique de bioéthanol est **0,049 Kg/s** (60jours) et **0,055 Kg/s** (70 jours)

4. Résultats obtenus et interprétations :

Inlet						
Tt1 [K]	Pt1 [bar]	W1 [kg/s]	Wc1 [kg/s]	Tt2 [K]	Pt2 [bar]	W2 [kg/s]
288,15	1,01325	0,049	0,049	288,15	1,01325	0,049

Combustor		
Tt4 [K]	Pt4 [bar]	W4 [kg/s]
2339,29	6,73122	0,098

Turbine										
Wc4 [kg/s]	T17 [K]	P17 [bar]	W7 [kg/s]	PR_t [-]	N%_t [%]	Nc_t [%]	PWshaft_t [kW]	Eto_t [-]	TO_t [Nm]	Wcomp_t [kg/s]
0,0453	2278,13	5,4094	0,098	1,2444	100,00	100,00	12,80	0,8800	7,389	0,0453

Exhaust nozzle					
Wc7 [kg/s]	T19 [K]	Ts9 [K]	P19 [bar]	Ps9 [bar]	W9 [kg/s]
0.0556	2313,14	2039,16	5,24551	3,00127	0,098

Figure 4.11 : Les résultats obtenus de la simulation

Interprétation :

D'après la simulation de la turbine à gaz, plusieurs paramètres ont été obtenus et ces paramètres incluent :

- **La température**, qui indique la quantité de chaleur impliquée dans le processus.
- **La pression**, qui mesure la force exercée par la turbine.
- **Le débit de carburant**, qui représente la quantité de fluide.
- La vitesse du rotor et la puissance mécanique.
- L'augmentation de ces paramètres peut signaler une conversion efficace de l'énergie thermique en énergie mécanique

La puissance mécanique produite par la turbine à gaz est de 12,8 kW. Cette puissance mécanique peut être convertie en puissance électrique à l'aide d'un alternateur triphasé. Supposons que les pertes de l'alternateur soient négligeables et que le rendement de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique soit de 0,8 (soit un rendement de 80 %) [7].

Le rendement représente l'efficacité du système dans la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Pour calculer la puissance électrique produite par l'alternateur, on multiplie la puissance mécanique par le rendement :

$$\text{Puissance électrique} = \text{Puissance mécanique} \times \text{Rendement}$$

$$\text{Puissance électrique} = 12.8 \times 0.8 \text{ kW}$$

$$\text{Puissance électrique} = 10.24 \text{ kW}$$

Donc l'énergie électrique produite est 36864 kWh, ce qui donne 322.9 Gwh/an.

L'énergie électrique produite à partir de la quantité de bioéthanol générée dans une station d'enfouissement peut être significative et peut contribuer à réduire la consommation d'électricité provenant des réseaux électriques traditionnels.

5. L'analyse de l'effet de changement de débit de bioéthanol sur la puissance produite :

De même manière et les mêmes étapes pour une fermentation alcoolique de 70 jours on obtient :

Turbine										
Wc4 [kg/s]	T17 [K]	Pt7 [bar]	W7 [kg/s]	PR_t [-]	N%_t [%]	Nc_t [%]	PWshaft_t [kW]	Ete_t [-]	TO_t [Nm]	Wcompc_t [kg/s]
0.0453	2278.13	5.4094	0.098	1.2444	100.00	100.00	12.80	0.8800	7.389	0.0453
0.0508	2278.13	5.4094	0.110	1.2444	100.00	100.00	14.37	0.8800	8.294	0.0508

Figure 4.12 : Les résultats obtenus pour 70 jours.

Selon le tableau obtenu, lorsqu'on varie le débit du carburant, on constate que la puissance mécanique augmente avec l'augmentation du débit. En revanche, la pression et la température restent constantes.

La puissance mécanique est égale 14.37kW

Ce qui implique que :

La puissance électrique = 14.37×0.8 kW

La puissance électrique = 11.49 kW

Donc l'énergie électrique produite est 41385.6 kWh, ce qui donne 362.54 Gwh/an.

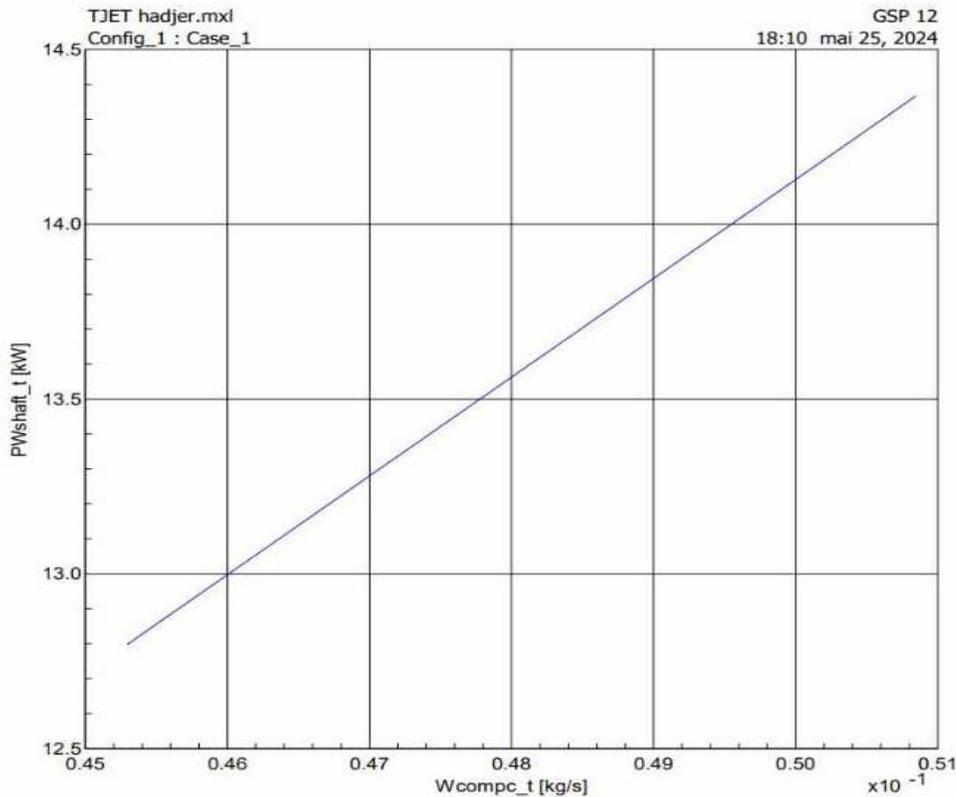


Figure 4.13 : La puissance produite en fonction de débit de carburant

Interprétation du graphe :

La puissance de notre turbine varie proportionnellement au débit de carburant. En d'autres termes, une augmentation du débit de carburant entraîne une augmentation correspondante de la puissance, tandis qu'une diminution du débit de carburant entraîne une réduction de la puissance.

6. Conclusion :

La valeur obtenue à partir de simulation par logiciel GSP, telles que la température, la pression, le débit, la puissance mécanique et la vitesse du rotor, fournissent des informations essentielles sur le fonctionnement de la turbine. Par exemple, avec un débit de 0,049 kg/s pour 60 jours et autre de 0,055 kg/s pour 70 jours, nous avons obtenu une puissance mécanique de 12,8 kW et de 14,37 kW respectivement.

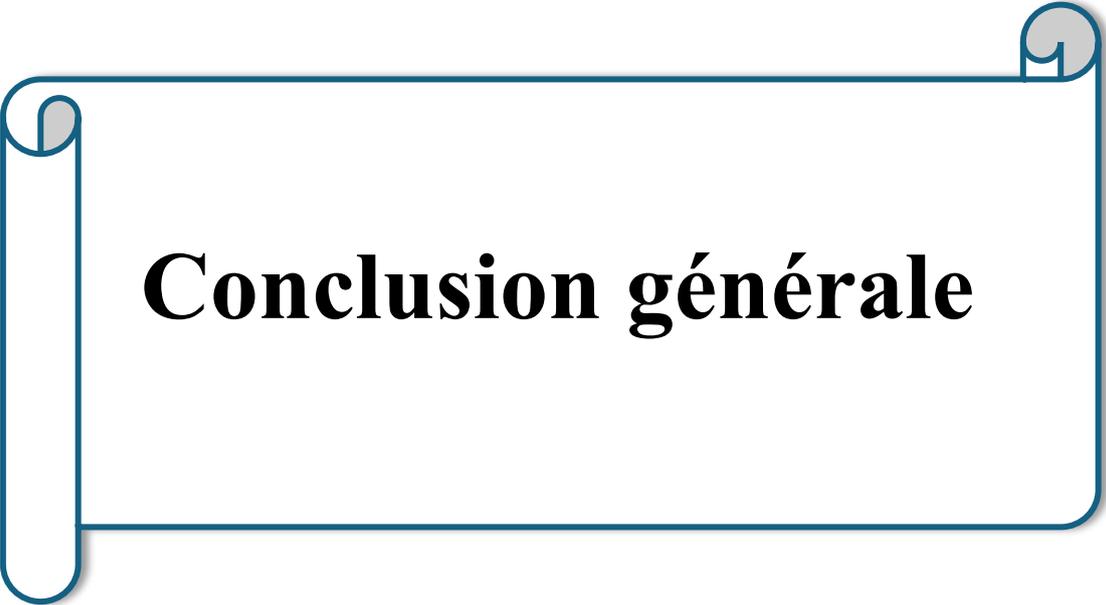
En tenant compte de la relation entre la puissance électrique produite, la puissance mécanique fournie et le rendement du système, nous avons obtenu une puissance électrique de 10,24 kW pour 60 jours et de 11,49 kW pour 70 jours, ce qui implique une puissance de 322.9 Gwh/an et 362.54 Gwh/an respectivement.

Le logiciel GSP offre donc une approche précise et fiable pour évaluer les performances des turbines et optimiser leur fonctionnement. Il constitue un outil précieux pour les ingénieurs et les chercheurs travaillant dans le domaine de l'énergie, permettant de prendre des décisions éclairées et d'améliorer la conception et l'efficacité des systèmes énergétiques.

En résumé, le programme de simulation de turbine à gaz GSP, montre que la quantité des déchets d'une seule journée obtenue dans le centre d'enfouissement de Tlemcen peut contribuer à réduire la consommation d'électricité provenant des réseaux électriques traditionnels. Par exemple on peut alimenter avec cette puissance électrique obtenue des maisons individuelles ou même des petites entreprises. Alors, on peut dire que la conversion des déchets alimentaires en bioéthanol pourrait conduire à un processus durable ayant le double avantage de résoudre le problème de l'élimination des déchets alimentaires et de répondre aux besoins énergétiques d'une population croissante.

7. Reference bibliographiques :

- [1] Visser, W.P. and M.J. Broomhead, *GSP A generic object-oriented gas turbine simulation environment*. 2000.
- [2] Visser, W.P., *Generic Analysis Methods for Gas Turbine Engine Performance: The development of the gas turbine simulation program GSP*. 2015.
- [3] Kihal, M., *Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf (Tlemcen)*. 2015.
- [4] DU, M.P.L.O. and D.D.E.A. DEA, *MODELISATION D'UNE DIGESTION ANAEROBIE DU LISIER DE PORC*.
- [5] Damien, A., *Guide du traitement des déchets*. 2004: Dunod Paris.
- [6] haouam, s.e. and s. hassaine, *etude du potentiel de valorisation energetique du biogaz de la station d'epuration baraki*. 2020, directeur: mme. faradji djamila née kherbouche/co-directeur: mme. ghomri amina.
- [7] haouam, s.e. and s. hassaine, *production d'electricite a partir de la combustion du biogaz issu de biomasse*. 2020, directeur: mme. faradji djamila née kherbouche/co-directeur: mme. gho



Conclusion générale

Selon la recherche bibliographique effectuée, il a été constaté que la biomasse a joué un rôle crucial dans la satisfaction des besoins énergétiques de l'humanité depuis l'acquisition de la maîtrise du feu. Aujourd'hui, la biomasse est la première source d'énergie renouvelable sur la planète. En outre, son intégration dans les systèmes énergétiques présente des avantages significatifs en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. La fermentation alcoolique est parmi les voies les plus utilisées dans la biomasse. En effet le bioéthanol paraît être un carburant de grande importance, il est utilisé dans différents domaines. Dans le présent travail nous avons fait une expérience de production de bioéthanol à partir des différents déchets alimentaires pour prévoir et caractériser notre produit final.

L'utilisation des déchets alimentaires comme matière première pour la production de bioéthanol permet d'obtenir des résultats fiables. En effet, leur valorisation en bioéthanol permet d'une part de réduire le coût de production de ce biocarburant. D'après la comparaison entre les différents types de déchets utilisés, la meilleure production de bioéthanol est pour les déchets d'écorce d'oranges avec un rendement de 29% pour 60 jours et 31% pour 70 jours, après, on a les déchets des pommes avec un rendement de 19% pour 60 jours et 28% pour 70 jours, et les dernières sont les déchets des petits pois avec un rendement de 19% pour 60 jours et 26% pour 70 jours.

Les travaux scientifiques étudiés dans le cadre de cette étude ont pu montrer que la capacité de production de bioéthanol par ces types de déchets a des résultats fiables, car l'écorce d'orange, les pommes et les petits pois sont des matières premières qui contiennent une grande quantité de sucres fermentescibles.

D'autre part, l'utilisation de logiciel GSP12 (le programme de simulation de turbine à gaz) permet de donner une modélisation avancée pour comprendre, analyser et optimiser les performances des turbines à gaz, mais aussi de mettre en évidence les capacités énergétiques de bioéthanol pour la production d'électricité.

Dans notre travail, le logiciel montre que la quantité de déchets d'une seule journée obtenue dans le centre d'enfouissement de Tlemcen peut contribuer à réduire la consommation d'électricité provenant des réseaux électriques traditionnels.

Cette énergie électrique obtenue pourrait alimenter des maisons individuelles ou même des petites entreprises. Ainsi, on peut conclure que la conversion des déchets alimentaires en bioéthanol pourrait conduire à un processus durable, ayant le double

avantage de résoudre le problème de l'élimination des déchets alimentaires tout en répondant aux besoins énergétiques d'une population croissante.

Résumé :

La valorisation de la matière agricole et des déchets organiques est l'objectif principal du présent travail. Le bioéthanol c'est l'une des ressources alternatives pouvant être la solution à la diminution de l'énergie fossile de la prochaine décennie. C'est un des biocarburants les plus utilisés dans le monde et qui est produit par fermentation d'une matière première riche en sucre par l'intermédiaire de levures.

Le but de ce travail consiste à valoriser différents types de déchets alimentaires tel que l'écorces d'oranges, les pommes, les petits pois. Ces substrats sont utilisés comme un milieu de fermentation pour produire de biocarburant, la meilleure production de bioéthanol est obtenue pour l'écorce d'oranges avec une quantité de (52,5g et 63 cm³), après les pommes avec une quantité de (45,4g et 56 cm³) et finalement les petits pois (42,5g et 52 cm³). Cette valeur de taux d'éthanol permet d'estimer le potentiel énergétique de bioéthanol produit à partir des déchets au niveau du centre d'enfouissement de Tlemcen, en outre la puissance électrique obtenus est (322.9 Gwh/an et 362.54 Gwh/an).

Abstract :

The valorization of agricultural materials and organic waste is the main objective of this work. Bioethanol is one of the alternative resources that could be the solution to the reduction in fossil energy over the next decade. It is one of the most used biofuels in the world and is produced by fermentation of a raw material rich in sugar using yeast. The aim of this work is to recycle different types of food waste such as orange peels, apples and peas. These substrates are used as a fermentation medium to produce biofuel, the best production of bioethanol is obtained for the peel of oranges with a quantity of (52.5g and 63 cm³), after apples with a quantity of (45.4g and 56 cm³) and finally the peas (42.5g and 52 cm³). This ethanol rate value makes it possible to estimate the energy potential of bioethanol produced from waste at the Tlemcen landfill center, in addition the electrical power obtained is (322.9 Gwh/year and 362.54 Gwh/year).

ملخص:

إن تجميع المواد الزراعية والنفايات العضوية هو الهدف الرئيسي لهذا العمل. يعد الإيثانول الحيوي أحد الموارد البديلة التي يمكن أن تكون الحل لتخفيض الطاقة الأحفورية خلال العقد المقبل. وهو أحد أنواع الوقود الحيوي الأكثر استخدامًا في العالم ويتم إنتاجه عن طريق تخمير مادة خام غنية بالسكر باستخدام الخميرة.

الهدف من هذا العمل هو إعادة تدوير أنواع مختلفة من مخلفات الطعام مثل قشور البرتقال والتفاح والبازلاء. تستخدم هذه الركائز كوسيط تخمير لإنتاج الوقود الحيوي، وأفضل إنتاج للإيثانول الحيوي هو قشر البرتقال بكمية (52.5 جم و 63 سم مكعب)، بعد التفاح بكمية (45.4 جم و 56 سم³). وأخيرًا البازلاء (42.5 جم و 52 سم³). إن قيمة معدل الإيثانول هذه تجعل من الممكن تقدير إمكانات الطاقة للإيثانول الحيوي المنتج من النفايات في مركز دفن النفايات بتلمسان، بالإضافة إلى أن الطاقة الكهربائية المتحصل عليها هي (322,9 جيجاوات ساعة /سنة و 362,54 جيجاوات ساعة / سنة).