



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
La République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
جامعة محمد المهدى بن باديس - مستغانم
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M2/.../2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Pétrochimique

Synthèse de bioéthanol à partir des biomasses végétales

Présenté par :

- BENATTOU Belkacem***
- FACI Mohamed elamine***

Soutenu le **07 /09/2020** devant le jury composé de

Présidente : MEKIBES Zohra	MAA	Université de Mostaganem
Examineur : BENZEKRI BENALLOU Mokhtar	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur : DOUINAT Oukacha	MAA	C-Universitaire de Relizane

Année Universitaire : 2019-2020

Dédicaces

Je dédier ce modeste travail a tous ceux qui nous ont inondés de courage d'estime et de patience, et pour ceux qui ont crue ont nous et pour ceux qu'on porte en vers eux un grand amour et sincère reconnaissance. A mes chers parents et ma grande famille pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour que je réussisse. Que dieu me les garde.

Remerciement

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de M'avoir permis d'en arriver là.

Je tiens à remercier **Dr. DOUNAT Oukacha** pour son encadrement et son soutien. Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail. En l'occurrence **Dr. MEKIBES Zohra** et **Dr. BENZEKRI BENALOU Mokhtar** Pour avoir accepté d'examiner le présent manuscrit.

Table des matière

<i>Résumé</i>	1
<i>Abstract</i>	2
<i>المخلص</i>	3
I. Les bioénergies	5
I.1 Introduction	5
I.2 Types des Bioénergies.....	5
I.2.1 Biogaz.....	5
I.2.2 Biocarburant	6
I.2.2.1 Bioéthanol	6
I.3 Procédés de production des bioénergies.....	7
I.3.1 Procédé thermochimique :.....	7
I.3.1.1 La pyrolyse.....	8
I.3.1.2 La liquéfaction :	8
I.3.1.3 La gazéification.....	8
I.3.2 Procédé biochimique	8
II. Le Bioéthanol.....	9
II.1 Définition de bioéthanol	9
II.2 Générations de bioéthanol	9
II.2.1 Bioéthanol de première génération.....	9
II.2.2 Bioéthanol de la deuxième génération	10
II.2.2.1 Bioéthanol produit à partir de résidus agricoles.....	10
II.2.2.2 Bioéthanol produit à partir de résidus forestiers	10
II.2.2.3 Bioéthanol produit à partir des plantes saccharifères.....	11
II.2.2.4 Bioéthanol produit à partir des plantes amylacées.....	11
II.2.2.5 Bioéthanol produit à partir de biomasse lignocellulosique	11

II.2.3	Bioéthanol de la troisième génération.....	13
II.3	Avantages de production de Bioéthanol.....	13
II.4	Inconvénients de production de Bioéthanol	14
II.5	Domaine d'utilisation de Bioéthanol.....	14
II.6	Potentiel de production mondiale en bioéthanol	16
III.	Synthèse de bioéthanol par fermentation alcoolique des biomasses végétales.....	17
III.1	Introduction.....	17
III.2	Fermentation alcoolique (FA).....	17
III.3	Étapes de synthèse de bioéthanol par fermentation des biomasses végétales.....	18
III.3.1	Obtention d'une matière sucrée.....	18
III.3.1.1	A partir des plantes amylacées	18
III.3.1.2	A partir des plantes sucrières.....	18
III.3.2	Fermentation du moût sucré	19
III.3.3	Distillation de bioéthanol.....	21
III.3.4	Purification de bioéthanol.....	21
	Référence :	24

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques de l'éthanol	7
Tableau 2 : Trois générations de bioéthanol	15
Tableau 3 : Production mondiale de bioéthanol	16

Liste des Figures

Figure 1 : Etapes de production de bioéthanol première génération.....	10
Figure 2 : Etapes de production de bioéthanol de deuxième génération.....	12
Figure 3 : Etapes de production de bioéthanol de troisième génération	13
Figure 4 : Procédé de fermentation alcoolique.....	17
Figure 5 : Principe de la fermentation alcoolique du glucose par la levure (SC).....	20
Figure 6 : Schéma procédé de fabrication de bioéthanol	22

Résumé

Résumé

Il existe de nombreuses incertitudes au sujet des réserves d'énergies fossiles de la planète. On sait que ces réserves ne cessent de diminuer et ne pourront fournir les besoins d'une population toujours croissante et toujours plus "gourmande" en énergie. La demande en énergie augmente et nous savons que les ressources fossiles ne sont pas renouvelables. En plus de la raréfaction de ces énergies fossiles, il se trouve que ces énergies sont très polluantes et rejettent diverses particules nocives dans l'atmosphère lors de leur combustion alors les bioénergies constituent une réelle opportunité pour répondre à nos besoins énergétiques qui ne cessent de croître. Elles sont considérées comme une voie prometteuse pour les énergies renouvelables surtout que les énergies fossiles commencent à se raréfier.

L'objectif recherché à travers ce travail est d'étudier le procédé synthèse ou fabrication de bioéthanol à partir de la fermentation alcoolique de la biomasse. La fermentation est une opération connue depuis les anciens temps. Elle a été utilisée par divers peuples (égyptiens, sumériens, Babyloniens,) pour la préparation de produits alimentaires comme le pain, les fromages, les boissons alcoolisées, etc. Actuellement, la fermentation est utilisée industriellement pour la fabrication de produits d'intérêt alimentaire (yaourts, bière), pharmaceutique (antibiotiques, vitamines, anticorps, etc.) et chimique (bioéthanol, acides gras, etc.). Elle consiste en la transformation par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone. Enfin on a pu savoir les domaines d'utilisation de bioéthanol et ses avantages et inconvénients.

Mots clés : Biomasse, Bioénergie, Bioéthanol, Fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*.

Abstract

There are many uncertainties about the world's fossil fuel reserves. We know that these reserves are constantly decreasing and will not be able to supply the needs of an ever growing population and always more "greedy" in energy. Energy demand is increasing and we know that fossil resources are not renewable. In addition to the scarcity of these fossil fuels, it turns out that these energies are very polluting and reject various harmful particles in the atmosphere during their combustion so bioenergies constitute a real opportunity to meet our energy needs which do not stop growing. They are considered to be a promising path for renewable energies, especially since fossil fuels are starting to become scarce.

The objective sought through this work is to study the synthesis or manufacturing process of bioethanol from the alcoholic fermentation of biomass. Fermentation is an operation known since ancient times. It has been used by various peoples (Egyptian, Sumerian, Babylonian, etc.) for the preparation of food products such as bread, cheeses, alcoholic drinks, etc. Currently, fermentation is used industrially for the manufacture of food products (yogurts, beer), pharmaceuticals (antibiotics, vitamins, antibodies, etc.) and chemicals (bioethanol, fatty acids, etc.).

It consists in the transformation by yeasts, mainly *Saccharomyces cerevisiae* of the must sugars, mainly glucose and fructose into ethanol and carbon dioxide. Finally we learned about the areas of use of bioethanol and its advantages and disadvantages.

Keywords: Biomass, Bioenergy, Bioethanol, Fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*.

هناك الكثير من الشكوك حول احتياطات الوقود الأحفوري على كوكب الأرض. نحن نعلم أن هذه الاحتياطات تتناقص باستمرار ولن تكون قادرة على تلبية احتياجات السكان المتزايدين باستمرار و "الجشع" المتزايد في الطاقة. يتزايد الطلب على الطاقة ونعلم أن الموارد الأحفورية ليست متجددة. بالإضافة إلى ندرة هذه الأنواع من الوقود الأحفوري ، اتضح أن هذه الطاقات ملوثة للغاية وترفض العديد من الجزيئات الضارة في الغلاف الجوي أثناء احتراقها ، لذلك تشكل الطاقة الحيوية فرصة حقيقية لتلبية احتياجاتنا من الطاقة التي تتزايد باستمرار. . تعتبر طريقًا واعدًا للطاقات المتجددة ، خاصة وأن الوقود الأحفوري بدأ في الندرة.

الهدف المنشود من خلال هذا العمل هو دراسة عملية تخليق أو تصنيع الإيثانول الحيوي من التخمير الكحولي للكتلة الحيوية. التخمير معروف منذ العصور القديمة. تم استخدامه من قبل مختلف الشعوب (المصريون ، السومريون ، البابليون ،) لإعداد المنتجات الغذائية مثل الخبز والجبن والمشروبات الكحولية ، إلخ. حاليًا ، يستخدم التخمير صناعيًا لتصنيع المواد الغذائية (الزبادي ، الجعة) ، الأدوية (المضادات الحيوية ، الفيتامينات ، الأجسام المضادة ، إلخ) والمنتجات الكيميائية (الإيثانول الحيوي ، الأحماض الدهنية ، إلخ). وهو يتألف من التحول عن طريق الخمائر ، وخاصة السكريات الخبازية ، من السكريات الموجودة في السكر الضروري ، وخاصة الجلوكوز والفركتوز ، إلى إيثانول وثاني أكسيد الكربون. أخيرًا ، تمكنا من التعرف على مجالات استخدام الإيثانول الحيوي ومزاياه وعيوبه.

الكلمات المفتاحية: الكتلة الحيوية ، الطاقة الحيوية ، الإيثانول الحيوي ، التخمير ، خميرة السكر ومايس.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La demande mondiale en énergie ne fait qu'augmenter, mais elle est majoritairement dépendante des énergies fossiles qui présentent de plus en plus de problèmes liés à leur disponibilité et qui sont en diminution continue, vu la nature non renouvelable de ces énergies. D'une autre part, les énergies fossiles engendrent des problèmes liés à l'environnement, essentiellement l'émission de gaz à effet de serre (GES) notamment le dioxyde de carbone (CO₂). Ces gaz sont à l'origine du réchauffement climatique de la planète qui est devenu une préoccupation mondiale poussant à trouver d'autres alternatives. Les énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolienne, géothermie et biomasse) se développent intensément partout dans le monde, portées par la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Les biocarburants, parfois appelés agrocarburants, sont issus de la matière première végétales. Il existe de nombreux types de biocarburants, comme le Biodiesel, le *Bioéthanol* ou le Biométhanol. Le *bioéthanol* est le biocarburant le plus consommé dans le monde, sa production peut être dérivée des procédés de fermentation à partir des résidus agro-industriels contenant des sucres ou des précurseurs du sucre comme la mélasse. Le bioéthanol peut constituer une solution de choix, étant donnée la nécessité de remplacer les combustibles fossiles.

Chapitre I :

Les bioénergies

I. Les bioénergies

I.1 Introduction

La **Biomasse** est souvent décrite comme étant « l'ensemble de toutes les matières premières renouvelables d'origine végétale ou animale destinées à des utilisations non alimentaires ». La **Biomasse** est un combustible varié. Au sens large, elle comprend « l'ensemble des êtres vivants, animaux ou végétaux, ainsi que leurs productions, sous-produits ou déchets (déjections, etc.) ». La biomasse forme les différents écosystèmes de la planète et participe à leurs équilibres naturels. Elle a d'abord été cultivée et élevée par l'homme pour son alimentation, mais elle fournit également des matériaux de construction et est utilisée comme matière première pour certains procédés industriels et pour la production d'énergie, on parle alors de **Bioénergie**.

I.2 Types des Bioénergies

Les bioénergies forme un ensemble d'énergies de valorisations possibles de la biomasse: combustible de chaleur (ex. le bois énergie), électricité (ex. le biogaz issu des effluents d'élevages) et carburant (ex. l'ester de colza). Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et notre dépendance au pétrole, il est impératif de trouver une énergie alternative. Les biocarburants sont une solution déjà utilisée mais qui doit encore évoluer. On distingue deux types de bioénergies qui sont : le biogaz et le biocarburant.

I.2.1 Biogaz

Le Biogaz est issu d'un procédé naturel que l'on nomme « *Méthanisation* ». En effet, il provient de la fermentation de déchets organiques par des bactéries et en l'absence d'oxygène. Le **biogaz** est composé de **méthane**, de **dioxyde de carbone** et d'autres impuretés, était à l'origine un simple produit résultant d'une réaction de la nature ou du traitement des déchets. Mais, grâce à la découverte de son potentiel en termes de propriétés énergétiques (le **biogaz** ressemble au gaz naturel en raison de sa forte teneur en méthane), il a rapidement été classé dans la catégorie de la « biomasse énergie ». Le **biogaz** est considéré comme une **énergie verte** pouvant se substituer à d'autres sources d'énergie traditionnelles, comme **l'énergie fossile**. Tout comme la géothermie, le solaire, l'éolien ou encore l'hydroélectricité, le **biogaz** se range parmi les énergies de demain et se révèle probablement être l'une des réponses aux enjeux du **développement durable** et de la **transition énergétique**.

I.2.2 Biocarburant

Un biocarburant est un carburant, donc un combustible liquide ou gazeux, destiné à alimenter des équipements de chauffage ou de transport, comme les voitures. À l'inverse de l'essence ou du gazole, il est obtenu à partir de matières premières non fossiles, issues de la biomasse : des matières organiques d'origine végétale, animale, ou issues de déchets. Les biocarburants constituent une alternative aux carburants d'origine fossile. Ils peuvent parfois être appelés *Agro-carburants*, pour les filières existantes issues de produits de l'agriculture : l'éthanol et le biodiesel. Ceux-ci constituent la première génération de biocarburants, d'ores et déjà produite et distribuée à la pompe en mélange avec les carburants fossiles classiques.

I.2.2.1 Bioéthanol

Le **bioéthanol** est un alcool éthylique ou éthanol, fabriqué à partir de céréales (maïs, blé...) ou de betteraves. Il est obtenu par la fermentation des sucres contenus dans ces matières végétales. Distillé puis déshydraté (l'eau ne s'incorporant pas à l'essence), cet alcool brut devient un composant de l'essence à différents pourcentages selon les carburants. Le bioéthanol est considéré comme une énergie renouvelable, les matières premières végétales (ou biomasse) se renouvelant chaque année. Il permet également de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, par rapport aux carburants fossiles. En effet, les matières agricoles utilisées pour sa fabrication absorbent le CO₂ en quantité importante, à un niveau bien plus conséquent que les rejets dans l'atmosphère du Super éthanol-E10, carburant qui contient un fort taux de bioéthanol. Son impact écologique est donc important. Il faut bien différencier le bioéthanol du biodiesel, l'un étant incorporé à l'essence tandis que le second est destiné au gazole.

Le **tableau 1** présente les propriétés physico-chimiques de l'éthanol [01].

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques de l'éthanol

Paramètre	Unité	Bioéthanol
Formule	/	C ₂ H ₆ O
Masse moléculaire	g/mol	46.069
apparence	/	Liquide incolore
Densité	Kg/litre	0,79
Indice d'octane (RON)	/	102-103
Indice d'octane (MON)	/	89-96
Chaleur latente de vaporisation	Kj/kg	842-930
Pression de vapeur	Kpa	15-17
Température d'allumage	°C	420
Température de fusion	°C	-144.4

I.3 Procédés de production des bioénergies

I.3.1 Procédé thermochimique :

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

I.3.1.1 La pyrolyse

La pyrolyse est la dégradation thermique de la biomasse par chauffage en absence d'oxygène. La pyrolyse produit du charbon et des huiles qui permettent la production de biocarburants. Le gaz produit lors de cette pyrolyse est utilisé pour produire la chaleur utile pour la pyrolyse.

I.3.1.2 La liquéfaction :

La liquéfaction est de mettre en solution la biomasse à l'aide d'un solvant aqueux (eau). La liquéfaction se fait en général sous pression de 150 à 200 bars et se produit sous atmosphère réductrice (en présence de H₂ et de CO). En plus de la biomasse, on peut rajouter un catalyseur (les plus intéressants sont les métaux alcalins, les alcalinoterreux...) et ainsi permettre un meilleur rendement (63%). La liquéfaction transforme la biomasse en biocarburant liquide et gazeux.

I.3.1.3 La gazéification

La gazéification est la transformation de la biomasse en présence d'oxygène, de vapeur d'eau et d'hydrogène. Cette technique va produire un mélange de gaz appelé gaz de synthèse (CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂). On peut utiliser un catalyseur pour réduire la température du procédé (900 °C). En l'absence de catalyseur la transformation se déroule à haute température (1300 °C). La différence avec la pyrolyse réside essentiellement par la présence de gaz de réaction (O₂, H₂O...).

I.3.2 Procédé biochimique

Le principal produit de la transformation biochimique de la biomasse lignocellulosique (BLC) est l'éthanol obtenu par hydrolyse suivie d'une fermentation éthanolique. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique est le *bioéthanol de deuxième génération*. Les procédés de production d'éthanol à partir de cette biomasse intègrent plusieurs considérations de base à savoir que : **La lignine ne peut être fermentée en éthanol**. Les fractions cellulosiques et héli cellulosiques sont des sources potentielles de sucres fermentescibles.

Chapitre II :

Le Bioéthanol

II. Le Bioéthanol

II.1 Définition de bioéthanol

Le Bioéthanol est un alcool présent dans les boissons alcoolisées et qui est utilisé dans l'industrie comme solvant ou désinfectant. L'éthanol devient le Bioéthanol, biocarburant quand on mélange à l'essence ou au diesel pour la consommation des moteurs. Ce biocarburant est produit à partir de plantes contenant du sucre (betterave, maïs et canne à sucre) ou de matières pouvant être converties en sucre comme l'amidon de blé. L'éthanol est un « Agro-carburant » car il est produit à partir de matières premières agricoles.

II.2 Générations de bioéthanol

La production de bioéthanol (**Figure 1**) à base de biomasse est plus durable et largement distribuée. À l'heure actuelle, il existe trois générations de bioéthanol qui ont été fondées sur différentes matières premières.

II.2.1 Bioéthanol de première génération

Le bioéthanol de première génération est obtenu par fermentation alcoolique de *sucres fermentescibles* (glucose, saccharose, etc.) . Ces sucres sont soit directement présents dans la plante (canne à sucre, betterave sucrière), soit obtenus après hydrolyse enzymatique de l'amidon contenu dans les grains de blé ou de maïs. Cependant, le principal inconvénient du bioéthanol de première génération est la menace de limitation de l'approvisionnement alimentaire qui peut affecter la population mondiale humaine car les matières premières sont dérivées de sources alimentaires. En outre, l'utilisation des ressources alimentaires pour le carburant peut entraîner une augmentation des prix des denrées alimentaires. D'un autre côté, il est important de préciser que la première génération de bioéthanol est économiquement déraisonnable, car les teneurs en carbone des plantes sont principalement perdues au cours du processus de conversion.

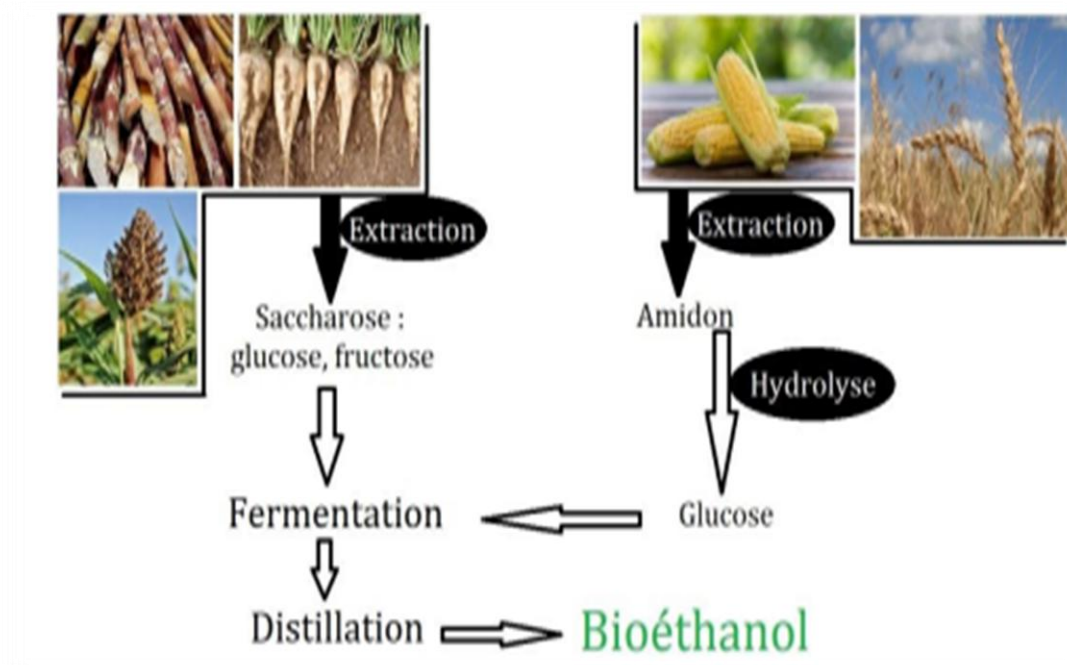


Figure 1 : Etapes de production de bioéthanol première génération.

II.2.2 Bioéthanol de la deuxième génération

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

II.2.2.1 Bioéthanol produit à partir de résidus agricoles

Les résidus de biomasse agricole est une source qui nécessite beaucoup d'énergie pour le prétraitement. Les rendements des ressources agricoles sont en hausse ; ceci encourage la perspective d'utiliser les résidus d'agriculture dans la production de bioéthanol de deuxième génération.

II.2.2.2 Bioéthanol produit à partir de résidus forestiers

La biomasse forestière représente une source d'énergie prometteuse permettant d'obtenir des combustibles solides (bûches, granulés), des combustibles liquides (bioéthanol et biodiésel) et

Chapitre II : Le bioéthanol

des combustibles gazeux (biogaz). Ces produits remplaceraient avantageusement les combustibles issus du pétrole.

II.2.2.3 Bioéthanol produit à partir des plantes saccharifères

Il s'agit de plantes très riches en sucre ; cet ensemble peut être considéré comme un sous-groupe des résidus agricoles. La canne à sucre est la plus utilisée au niveau mondial pour la production de bioéthanol. En 2010, l'éthanol de canne à sucre représentait un tiers de la production d'éthanol au niveau mondial. Les jus sucrés comme les mélasses sont directement fermentescibles en éthanol, sans avoir à procéder à des opérations préalables de saccharification. Les pulpes de betteraves sont utilisées en alimentation animale, comme une bonne partie des vinasses. Les bagasses de canne à sucre sont avant tout une source d'énergie renouvelable auxquelles les vinasses concentrées peuvent être ajoutées.

II.2.2.4 Bioéthanol produit à partir des plantes amylacées

Le maïs est la plante la plus utilisée pour la production d'éthanol aux Etats-Unis d'Amérique. Cependant, cette plante, grande consommatrice d'eau, est bien moins adaptée aux étés généralement secs de l'Europe. Néanmoins d'autres plantes sont utilisables comme le blé et l'orge (moins gourmande en eau en été), la pomme de terre ou encore le manioc ; ce dernier étant particulièrement bien adapté au climat tropical. Les réserves d'amidon dans les céréales s'effectuent dans leurs graines. Celles-ci étant pauvres en eau, elles peuvent être stockées et utilisées ultérieurement. Ce n'est pas le cas pour la pomme de terre ou le manioc qui sont riches en eau et doivent donc être transformés rapidement après récolte. La composition des jus sucrés à partir d'amidon peut varier selon les procédés utilisés, selon les variétés de plantes utilisées ou encore selon les sols. En effet, l'amidon contenu dans les plantes n'est ni fermentescible ni accessible directement, il doit donc être transformé en glucose. L'amidon est ensuite hydrolysé par voie enzymatique en deux étapes successives : liquéfaction à 100-105 °C avec des α -amylases, suivie de la saccharification à 50-55 °C avec l'amyloglucosidase libérant le glucose.

II.2.2.5 Bioéthanol produit à partir de biomasse lignocellulosique

L'éthanol peut aussi être produit à partir de matière lignocellulosique, comme le bois, la paille, les herbacées, etc. La matière lignocellulosique sert de structure pour les plantes. Elle est le constituant principal de la paroi cellulaire des plantes. Elle est aussi la source de carbone renouvelable la plus abondante de la planète. Il s'agit donc d'une matière stable et résistante aux agents extérieurs et donc plus difficile à dégrader. Elle est composée principalement de lignines qui sont des composés polyphénoliques inutilisables par la levure, de cellulose et

Chapitre II : Le bioéthanol

d'hémicelluloses qui sont des composés poly-osidiques. Ces trois macromolécules s'entremêlent et forment une structure tridimensionnelle complexe et très résistante, maintenue par des liaisons hydrogène et des liaisons covalentes, qui résiste aux attaques de phytopathogènes et qui confère de la rigidité aux plantes. Comme pour l'amidon, la cellulose et les hémicelluloses doivent être hydrolysées avant utilisation par la levure car elle n'a pas le pool enzymatique nécessaire pour cela. Les procédés d'hydrolyse ressemblent à ceux employés pour l'amidon, ils emploient soit un traitement acide soit un traitement enzymatique. Le premier est certes peu cher mais il produit des inhibiteurs de fermentation et a un faible rendement d'hydrolyse. Le traitement enzymatique à l'inverse, est onéreux à cause du coût de l'enzyme mais il est performant et ne produit pas d'inhibiteurs. Les méthodes de prétraitement répondant à ces objectifs sont le prétraitement à l'acide dilué, l'explosion à la vapeur et la thermo-hydrolyse puisqu'elles permettent de satisfaire aux objectifs fixés tout en minimisant la formation de composés de dégradation des sucres. Des recherches doivent encore porter sur l'amélioration de l'activité des enzymes, les cellulases, afin de réduire le coût de l'hydrolyse enzymatique.

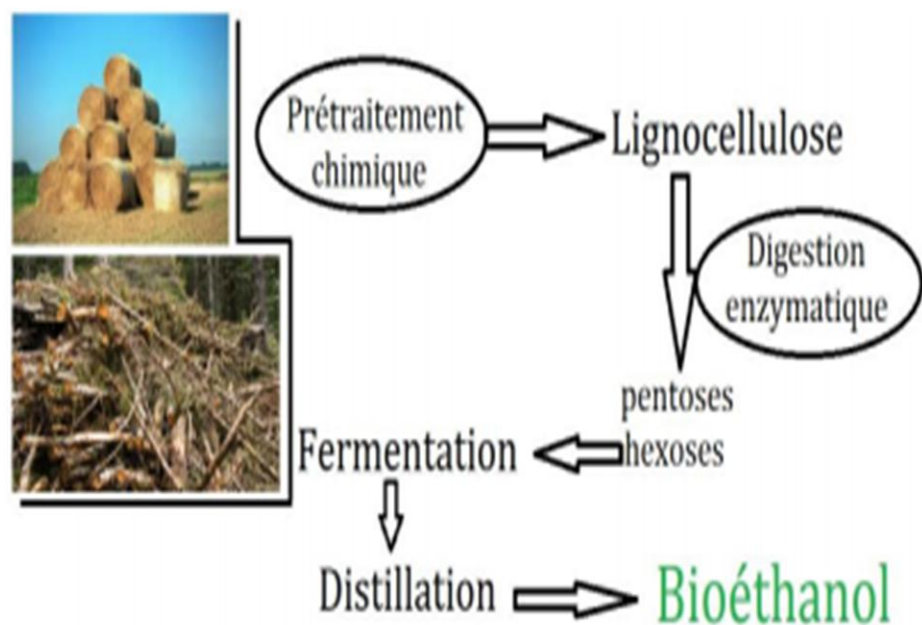


Figure 2 : Etapes de production de bioéthanol de deuxième génération.

Chapitre II : Le bioéthanol

II.2.3 Bioéthanol de la troisième génération

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

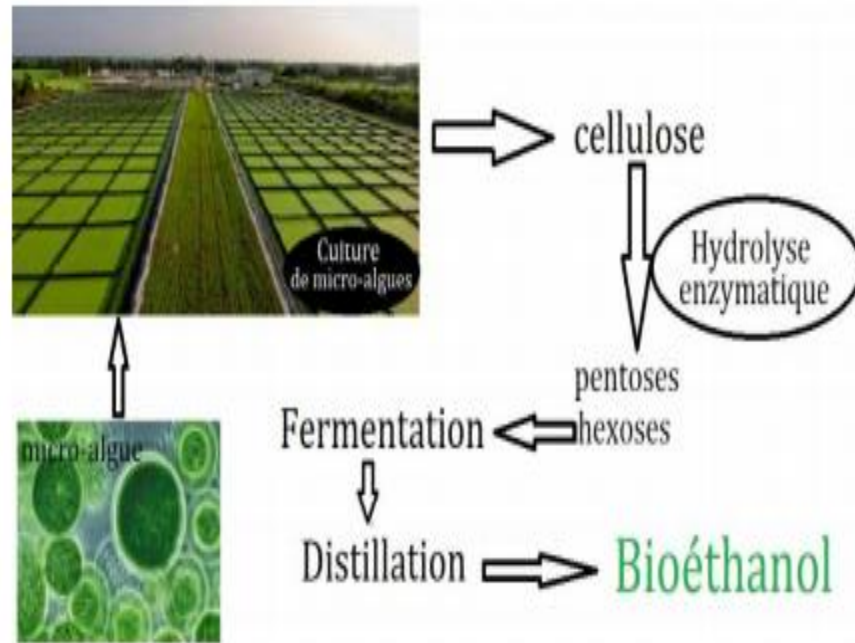


Figure 3 : Etapes de production de bioéthanol de troisième génération

II.3 Avantages de production de Bioéthanol

- L'éthanol est produit à partir de la biomasse, une source d'énergie qui émet peu de gaz à effet de serre.
- La production d'éthanol coûte moins cher que celle d'essence ou de diesel.
- L'exploitation de l'éthanol permet de restreindre la dépendance énergétique en pétrole des Etats et de promouvoir les énergies renouvelables.
- De nouveaux marchés vecteurs d'emplois sont actuellement créés grâce au développement de l'éthanol notamment dans les pays émergents comme le Brésil, l'Indonésie et la Malaisie.

Chapitre II : Le bioéthanol

II.4 Inconvénients de production de Bioéthanol

La production d'éthanol contribue à la **déforestation** et nécessite l'utilisation massive d'eau.

L'éthanol est produit à partir de matières premières destinées à la consommation alimentaire.

La production de biocarburants a contribué à la hausse du cours des denrées alimentaires, qui a entraîné depuis 2007 des "émeutes de la faim" en Afrique et en Asie.

La production de l'éthanol implique un travail physique éprouvant dans les champs de canne à sucre.

II.5 Domaine d'utilisation de Bioéthanol

- Le **Bioéthanol** peut être utilisé de trois manières comme biocarburant ;
- Il peut être utilisé tel quel en étant mélangé à de l'essence classique à environ 10% ;
- Il peut également être transformé en ETBE (Ethyl-Tertio-Butyl-Ether) qui est un dérivé pouvant être mélangé à une essence classique dans une proportion de 15% ;
- le bioéthanol peut être utilisé comme un carburant à part entière avec l'E-85 constitué de 85% de bioéthanol et 15% de SP95. C'est le plus écologique dans sa consommation car il produit beaucoup moins de dioxyde de carbone que les carburants classiques ;
- Le bioéthanol est de plus en plus connu en tant que « biocarburant ». Contrairement au diester, le biocarburant destiné aux moteurs diesel, le bioéthanol est spécialisé pour les moteurs « essence » ;
- Il est présent dans les liqueurs, les boissons anisées, mais aussi dans les cosmétiques ou encore les médicaments, les vernis, les colles et les peintures.

Chapitre II : Le bioéthanol

Le Tableau 2 présente les trois générations de bioéthanol [02].

Tableau 2 : Trois générations de bioéthanol

Génération de bioéthanol	1 ^{ère} Génération	2 ^{ème} Génération	3 ^{ème} Génération
Source de matière première	Culture comestible (canne à sucre, maïs, betterave)	Culture non comestible (résidus agricoles et forestiers)	Biomasse algale
Utilisation des terres pour la culture	Croque sur les terres arables	Croque sur les terres arables et marginales	Eau de mer Eaux douces Eaux usées
Technologies de conversion	Extraction de sucre Fermentation et distillation	Prétraitement, hydrolyse, fermentation, distillation	Distillation et Fermentation
Rendement en bioéthanol	Faible	moyen	élevé
Impact sur l'environnement	Faible apport à l'atténuation du CO ₂	Contribution élevée à l'atténuation du CO ₂	Contribution élevée à l'atténuation du CO ₂
Avantages ou inconvénients	Processus de conversion relativement simple	Pas de concurrence avec la ressource alimentaire	Investissements limités et difficultés dans la conception des processus

Chapitre II : Le bioéthanol

II.6 Potentiel de production mondiale en bioéthanol

L'offre potentielle en biocarburants n'est pas une donnée absolue et statique, mais une estimation dynamique, qui dépend de scénarios géographiques, économiques et politiques évolutifs, et aussi de technologies de production et de transformation, nombre d'entre elles encore en développement. De plus, les ressources naturelles consacrées aux cultures énergétiques, comme les terres et l'eau, sont nécessairement limitées.

La production mondiale en bioénergies a débuté vers les années 1970 avec la crise du pétrole ; l'avènement de la production du bioéthanol a donc vu le jour avec utilisation de matières premières riches en amidon (**Tableau 3**) [03]. Ainsi, 47 millions de litres de bioéthanol ont été produits à partir de céréales secondaires. La canne à sucre a pris part avec 29% de la production mondiale. Désormais, Les matières premières concurrentielles de l'alimentation humaine et animale sont de plus en plus remplacées par les algues à partir desquelles le bioéthanol de 3^{ème} génération est produit.

Tableau 3 : Production mondiale de bioéthanol

Matières premières	Production (Millions de litres)	Part en %
Betterave sucrière	2	1,86
Canne à sucre	27	29,18
Blé	2	2,29
Mélasses	4	4,03
Céréales secondaires	47,07	51,28
Autre	7	8,06
Matières premières non agricoles	3	3,27

Chapitre III :

Synthèse de bioéthanol par fermentation alcoolique des biomasses végétales.

III. Synthèse de bioéthanol par fermentation alcoolique des biomasses végétales

III.1 Introduction

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

III.2 Fermentation alcoolique (FA)

La FA consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée en produit alcoolisé et fait intervenir des phénomènes physiques, biochimiques et biologiques complexes. Elle consiste en la transformation par les micro-organismes, principalement les levures comme la *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone avec dégagement d'énergie le tout en anaérobiose.

Sucres + Levures \longrightarrow Ethanol + CO_2 + Energie..... [04].

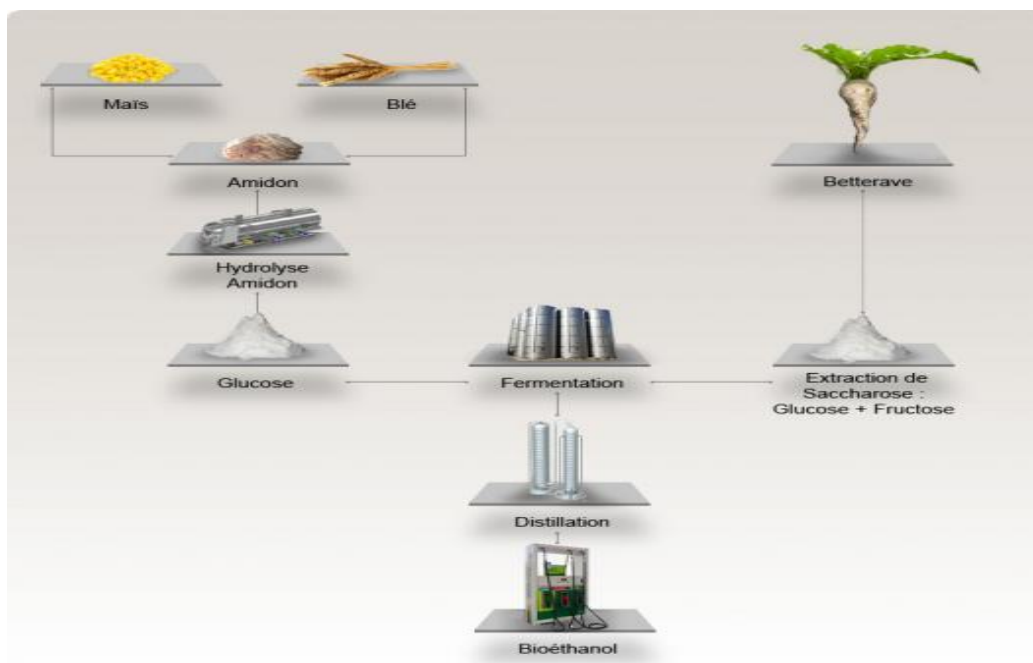


Figure 4 : Procédé de fermentation alcoolique

III.3 Etapes de synthèse de bioéthanol par fermentation des biomasses végétales

III.3.1 Obtention d'une matière sucrée

III.3.1.1 A partir des plantes amylacées

Les plantes amylacées contiennent de l'amidon, qui est un glucide contenant du glucose. Pour obtenir ce dernier, on utilise un procédé appelé *hydrolyse de l'amidon*.

En effet l'amidon est un polymère, une molécule de masse molaire élevée qui est constituée de plusieurs monomères (en l'occurrence du glucose) unis par des liaisons covalentes (de façon schématisée, on peut dire que l'amidon forme un "chapelet" de molécule de glucose). L'hydrolyse permet alors de casser ces liaisons grâce à des molécules d'eau et des enzymes.

On peut alors récupérer le sucre issu de cette hydrolyse: le glucose.

III.3.1.2 A partir des plantes sucrières

Les plantes sucrières telle que la betterave ne contiennent pas de l'amidon, mais du saccharose, une macromolécule constituée d'une molécule de glucose, et d'une molécule de fructose.

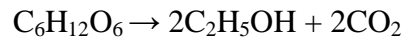
Dans le cas de la betterave, plante sucrière, la matière obtenue après lavage et découpage de la plante en cossette, est chauffée. En effet, le glucose est stocké dans les cellules de la plante car nécessaire à son métabolisme. Cependant ces cellules sont entourées d'une membrane, chauffer la matière permet de détruire la membrane des cellules et ainsi libérer le saccharose dans le jus de diffusion qui sera alors filtré pour éliminer les cossettes vidées de leur sucre. Ce procédé est le même pour l'extraction du sucre dans une sucrerie

Par le même procédé d'hydrolisation, des enzymes vont la aussi casser les liaisons covalentes et la molécule de saccharose donne alors une molécule de glucose et une autre de fructose.

III.3.2 Fermentation du moût sucré

Des sucres sont fermentés par des micro-organismes (levures, bactéries,...), ce qui engendre la formation d'éthanol, de dioxyde de carbone et de chaleur.

Glucose → éthanol + dioxyde de carbone



La fermentation alcoolique est réalisée dans un milieu riche en sucres. Le moût est introduit dans le fermenteur puis inoculé avec le milieu de pré-fermentation. La fermentation dure de 40 à 72 heures et la température est fixée entre 28 et 30 °C [05]. Les sucres les plus abondants sont le glucose et le fructose. L'espèce de levures principalement responsable de la fermentation alcoolique est *Saccharomyces cerevisiae*. La voie métabolique utilisée pour la consommation de sucres, en condition anaérobie, qui comporte la glycolyse, produit dans cette étape deux molécules d'ATP pour une molécule de sucre consommé. Durant cette réaction, deux molécules de cofacteur NAD⁺ sont réduits en NADH. La production d'éthanol à partir du pyruvate de la glycolyse est la conséquence de la réoxydation de ces cofacteurs. Lors de la fermentation alcoolique, la macération provoque l'extraction de la couleur. La fermentation se déroule en milieu non renouvelé. La croissance de *Saccharomyces cerevisiae* peut être limitée par l'accumulation de substances toxiques. Signale que les acides gras (l'acide octanoïque, decanoïque, formés par les levures, deviennent toxiques pour elle. Pour remédier à ce phénomène, une pincée de charbon était additionnée aux moûts avant ensemencement pour faciliter la reprise de la fermentation [06].

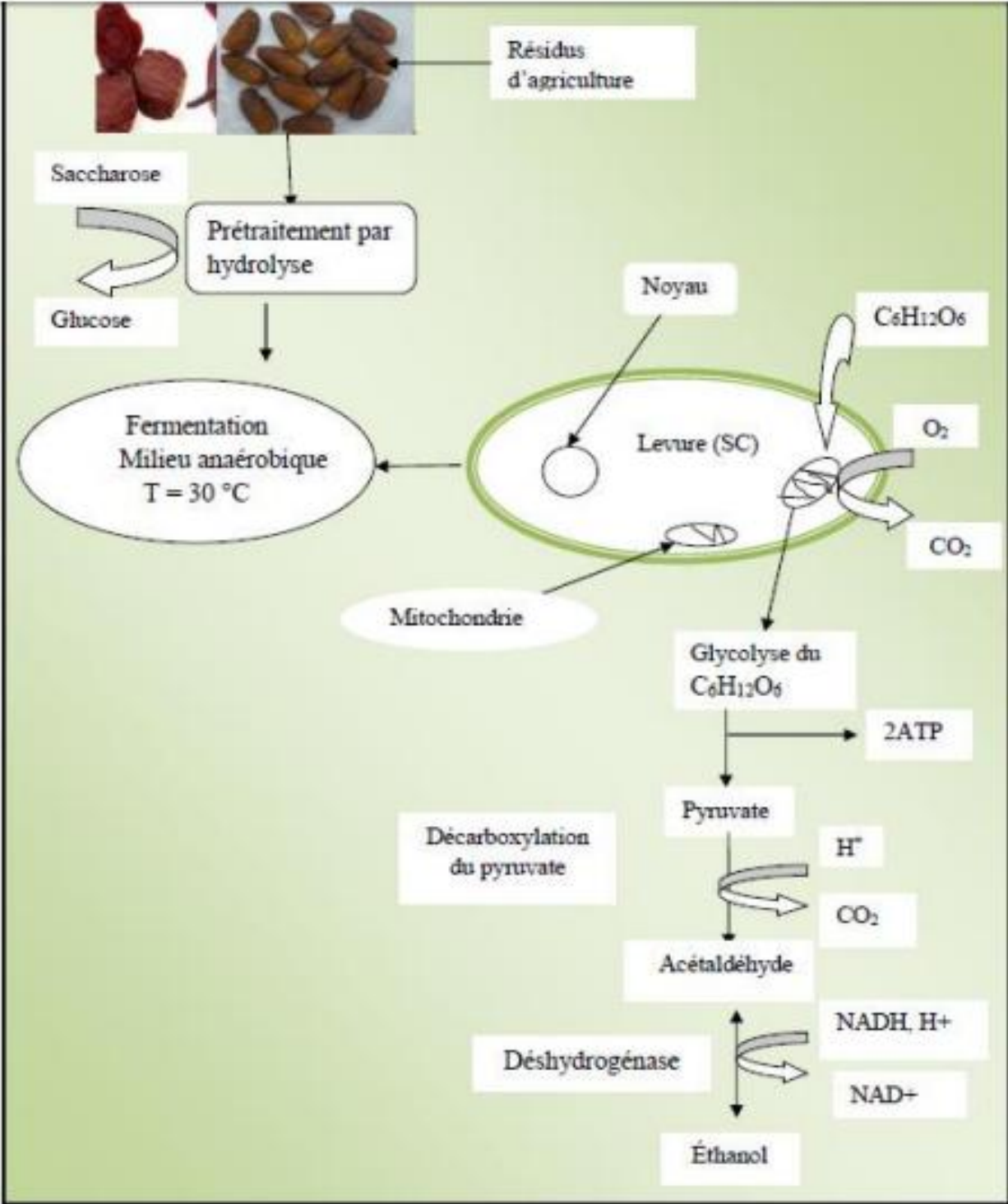


Figure 5 : Principe de la fermentation alcoolique du glucose par la levure (SC)

III.3.3 Distillation de bioéthanol

Cette opération pour but de récupérer l'alcool éthylique résultant de la fermentation ; elle s'opère dans des colonnes à distiller. Le moût alcoolisé est réchauffé à 75 °C puis éjecté dans la partie supérieure d'une colonne de distillation qui comporte des plateaux superposés. Le moût alcoolisé tombe sur le premier plateau et descend de plateau en plateau pour aboutir à la base de la colonne, inversement de la vapeur est injectée sous pression à la base de la colonne et progresse vers la haut en traversant successivement tous les plateaux. Elle entre ainsi en contact direct avec le liquide. Le moût s'épuise petit à petit de son alcool en descendant de plateau en plateau. Arrivé au bas de la colonne, ce liquide épuisé appelé vinasse est éliminé. La vapeur s'enrichit au contraire en alcool à mesure qu'elle gagne le sommet de la colonne. Lorsqu'elles sont par le haut, elle se refroidit dans un condenseur et passe à l'état liquide.

III.3.4 Purification de bioéthanol

La production de l'alcool rectifié à 96% à partir des moûts de toutes origines se fait par la purification du moût alcoolisé, sur la colonne d'épuration ensuite par la distillation et la rectification du moût épuré. Pour ce qui est la mélasse, la colonne de distillation fonctionne sous vide pour éviter les encrassements. Cette opération peut être complétée par une colonne d'affinage afin d'éliminer les produits légers.

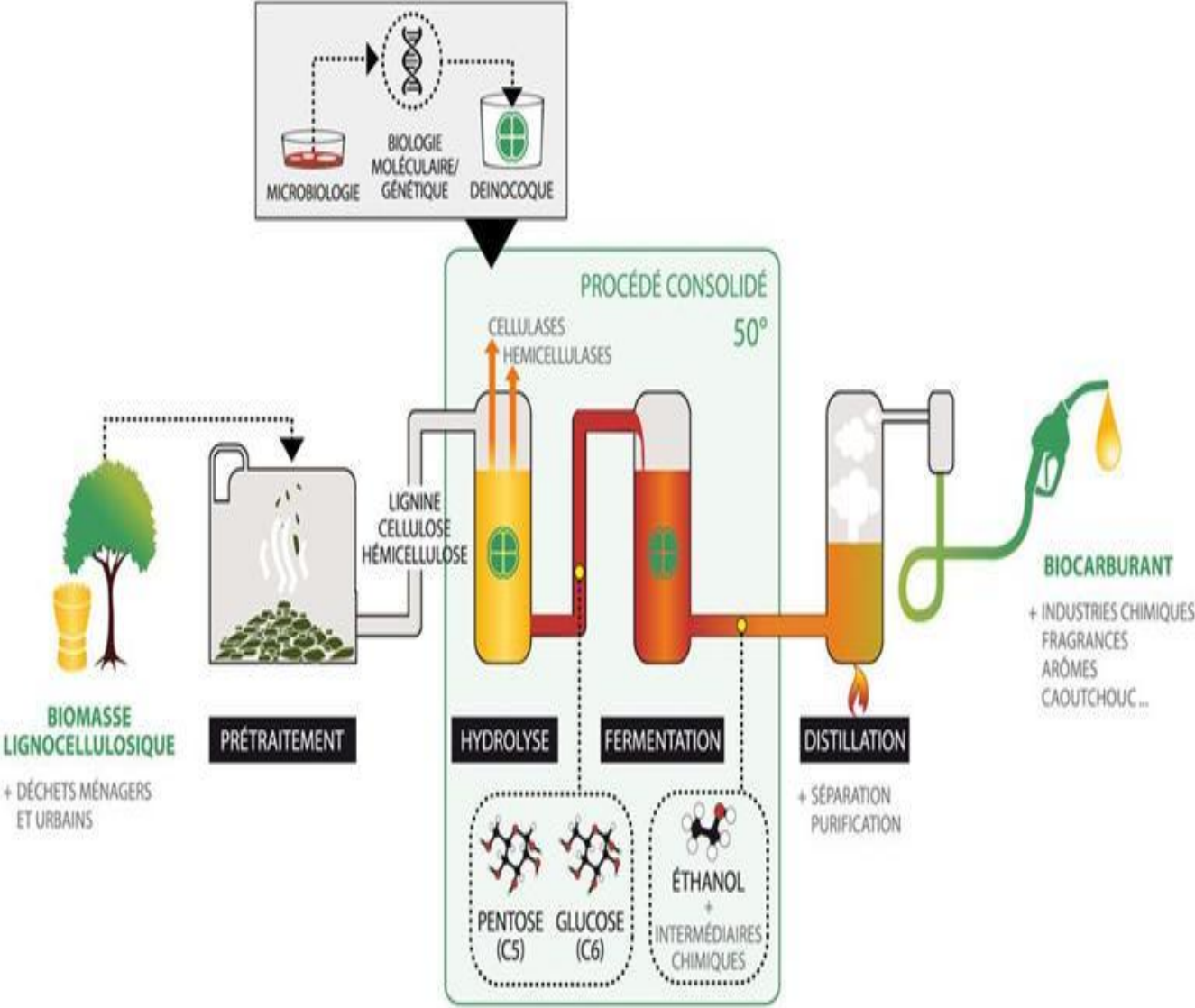


Figure 6 : Schéma procédé de fabrication de bioéthanol

Conclusion générale

C onclusion

La consommation du bioéthanol rejette légèrement moins de CO₂ que l'essence. Mais bien qu'il ait des avantages certains, le bioéthanol présente de nombreux inconvénients qui ne permettent pas de dire que cette source d'énergie est écologique. C'est pourquoi il est parfois contesté et entraîne des débats.

Cependant, le bioéthanol apporte une évolution dans le domaine de la recherche de remplacement d'énergies fossiles. En effet, il permet l'élaboration de nouveaux produits ayant un bilan écologique meilleur, comme, par exemple, les agrocarburants de deuxième génération, en cours de développement. On peut penser à une filière de cette deuxième génération de biocarburants, d'un très bon niveau énergétique et écologique : il s'agit de la filière des microalgues qui représente une des meilleures alternatives aux hydrocarbures. Mais la filière des algocarburants n'en est qu'à son tout premier stade de développement. En attendant, le bioéthanol sert d'énergie de transition.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Référence :

[01] BNDES/CGEE Coord., 2008, Bioéthanol de canne à sucre .livre énergie pour le développement durable, Rio de Janeiro, BNDES-CGEE. 1ere édition ,316 pages.

[02] Lorne D., 2012. Le point sur les biocarburants progression des marchés nationaux et internationaux. IFPEN.

[03] Azmah J., Rahmath A., Siti H., Hartinie M., Jualang A., 2016.a review on a third generation feedstock bioethanol .*Renewable and sustainable energy reviews*, 65(6016).pages 757, 758.

[04] Kaidi F., Touzi A., 2001.Production du bioéthanol à partir des déchets de dattes. *Revue Energie Renouvelable. : Production et Valorisation – Biomasse*, pages 75-78.

[05] FromentinF., Dauriat A., Lucas H., Marchaud D., Sarlos G., 2000.Caractérisation de filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. *Revue l'office fédérale de l'énergie*, no69809, 120pages.

[06] Ould el hadj M., Cheick M., hamdi W., Sayah Z., Bouaziz S., 2012. Étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (dégela Beida, tacherwit et hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional est algérien). *Algerian journal of arid environment*, Vol. 2, n° 2, pages 78-87.

<https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-quun-biocarburant-193792>.

<https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/III>

https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_025_03.pdf

<https://www.actuenvironnement.com>

<https://fr.statista.com/statistiques/753650/production-d-ethanol-par-pays-monde/>

http://www.fao.org/3/i9166f/i9166f_chapitre9_Biocarburants.pdf

<https://www.researchgate.net>

<http://di.univ-blida.dz:8080>

https://ensaia.univlorraine.fr/sites/ensaia.univlorraine.fr/files/users/telechargements/rapport_final_fermentation2.pdf

<https://www.techniques-ingenieur.fr>

<https://www.corep.fr/le-guide-du-memoire..>

<https://www.futuribles.com/fr/article>

<https://www.boursedirect.fr>

<https://books.openedition.org/irdeditions/1069>