

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Ahmed Draïa Adrar**



**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :**  
**Génie des Procédés**

**Thème :**

---

**Production du biogaz à partir des folioles et  
pétiolles des palmiers dattiers ( *phoenix dactylifera* L)  
variété *H'mira* : Etude comparative**

---

**Préparé par :**

**M. Lamir Abderrahim.**

**Membres de jury d'évaluation :**

<b>M. SAKHER El fahem</b>	<b>Président</b>	<b>MCB.</b>	<b>Univ. Adrar</b>
<b>M. KALLOUM Slimane</b>	<b>Encadreur</b>	<b>Professeur.</b>	<b>Univ. Adrar</b>
<b>M. DJAEFRI Mohamed</b>	<b>Co-encadreur</b>	<b>MRA</b>	<b>URER-MS</b>
<b>M. DAHOU Mohamed El amine</b>	<b>Examineur</b>	<b>MAA</b>	<b>Univ. Adrar</b>

**Année Universitaire : 2019/2020**



## Remerciements

Je remercie **ALLAH** pour la volonté et le courage qu'il m'a donné pour  
achever de ce travail.

Je tiens aussi à remercier mes deux encadreurs **Mr. Djaafri**  
**Mohammed** et **Mr. Kalloum Slimane** non seulement pour avoir  
accepté d'encadrer ce travail mais surtout pour m'avoir insufflé le désir  
et la passion de la recherche.

Je remercie également **l'équipe de bioconversion** pour toute l'aide et les  
conseils qu'elle m'a apportés tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier M. **le directeur de l'Unité de Recherche en Energie**  
**Renouvelable dans le Milieu Saharien-Adrar (URER-MS)** et tous les  
employés de cet établissement

Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui m'ont  
aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

**Abderrahim**





*Dédicace*

*Je dédie ce travail à la personne qui a consacré toute sa vie pour le  
bien de ses fils et ses filles : Ma mère*

*À l'âme pure de mon père que dieu l'accueille dans son vaste paradis*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A toute ma famille*

*A mes amis intimes et mes collègues*

*Merci à tous*

## Résumé

Ce mémoire traite le sujet de l'exploitation des déchets de palmier dattier pour la production de l'énergie renouvelable représentée par le biogaz en utilisant la technique de la digestion anaérobie.

L'étude a examiné une comparaison entre deux types de déchets de palmiers dattiers (folioles et pétioles) de la variété H'mira pour produire le biogaz. Le processus de digestion anaérobie est contrôlé en suivant l'évolution des éléments affectant le processus, tels que le pH, la demande chimique en oxygène (DCO), les acides gras volatils (AGV) ainsi que le titre alcalimétrique complet en plus de suivre la production quotidienne et la production totale en biogaz.

Les résultats ont montré que la digestion anaérobie des folioles donne le meilleur rendement en biogaz, qui est estimé à  $112,4 \pm 20,83$  ml / g MO par rapport aux pétioles qui ne donnent que  $34,86 \pm 13,60$  ml / g MO. Le processus de digestion anaérobie est meilleur pour le réacteur contenant les folioles par rapport à celui contenant les pétioles.

Cette étude a permis de vérifier le grand écart entre les deux types de déchets appartenant à la même variété de palmier, ce qui nécessite d'autres études afin de connaître les composants de chaque déchet séparément pour connaître la principale raison qui a conduit à ces différences de productivité du biogaz.

### Mots clés :

Biogaz, folioles, pétioles, H'mira, palmiers dattiers, digestion anaérobie .

### ملخص

هذه المذكرة تناولت موضوع استغلال مخلفات نخيل التمر من أجل إنتاج الطاقة المتجددة متمثلة في الغاز الحيوي عن طريق استخدام تقنية التخمر اللاهوائي.

الدراسة تناولت مقارنة بين نوعين من المخلفات الخاصة بنخيل التمر (السعف والكرناف) من نوع حميرة استعملتا من أجل إنتاج الغاز الحيوي. تم تتبع تقنية الهضم اللاهوائي عن طريق متابعة تطور العناصر المؤثرة في العملية مثل الأس الهيدروجيني، الطلب الكيميائي للأوكسجين، الأحماض الدهنية الطيارة وكذا القوة القلوية الكاملة إضافة إلى تتبع الانتاج اليومي والانتاج الكلي من الغاز الحيوي.

النتائج أظهرت ان الهضم اللاهوائي لسعف النخيل أعطى مردودية أفضل للغاز الحيوي قدرت ب  $112,4 \pm 20,83$  مل/غ من المادة العضوية مقارنة بالكرناف الذي اعطى فقط  $34,86 \pm 13,60$  مل/غ من المادة العضوية، كما ان عملية الهضم اللاهوائي كانت افضل بكثير في مفاعل السعف مقارنة بمفاعل الكرناف.

هذه الدراسة اطهرت التباين الكبير بين النوعين من المخلفات التابعين لنفس النوع من النخيل مما يستدعي الحاجة الى دراسات اخرى من اجل معرفة مكونات كل مخلف على حدى لمعرفة السبب الرئيس الذي ادى الى هذه الفوارق في انتاجية الغاز الحيوي.

### الكلمات المفتاحية :

الغاز الحيوي ، المنشورات ، أعناق ، حميرة ، نخيل التمر ، الهضم اللاهوائي.

## **Abstract**

This study deals with the subject of the exploitation of date palm waste for the renewable energy production represented by biogas using the technique of anaerobic digestion.

The study looked at a comparison between two types of waste from date palms (leaflets and petioles) of the H'mira cultivars to produce biogas. The anaerobic digestion process is controlled by monitoring the evolution of elements affecting the process, such as pH, chemical oxygen demand (COD), volatile fatty acids (VFA) as well as the complete alkalinity in addition to monitoring the daily production and total biogas production.

The results showed that the anaerobic digestion of the leaflets gives the best biogas yields, which is estimated at  $112,4 \pm 20,83$  ml / g OM compared to the petiole which gives only  $34,86 \pm 13,60$  ml / g MO. The anaerobic digestion process is better for the reactor containing the leaflets compared to the one containing the petioles.

This study made it possible to verify the large difference between the two types of waste belonging to the same variety of palm tree, which requires further studies in order to know the components of each waste separately to know the main reason that led to these differences in biogas productivity.

### **Keywords :**

Biogas, leaflets, petioles, H'mira, date palms, anaerobic digestion.

**Remerciement**

<b>Résumé</b> .....	I
<b>Table des matières</b> .....	III
<b>List des figures</b> .....	VI
<b>List des Photo</b> .....	VII
<b>Liste des Tableau</b> .....	VIII
<b>Abréviation</b> .....	IX
<b>Introduction Générale</b> .....	01
<b>CHAPITRE I : Etude bibliographique</b>	
<b>I.1. Energie renouvelable</b> .....	04
Introduction.....	04
<b>I.1.1. Sources des énergies renouvelables</b> .....	04
<b>I.1.1.1. Photovoltaïque</b> .....	05
<b>I.1.1.2. Eolienne</b> .....	05
<b>I.1.1.3. Thermique</b> .....	05
<b>I.1.1.4. Biomasse</b> .....	05
<b>I.2. Biomasse</b> .....	05
<b>I.2.1. Définition</b> .....	05
<b>I.2.2. Ressources de la biomasse</b> .....	06
<b>I.2.3 Génération de la biomasse</b> .....	06
<b>I.2.4. la biomasse lignocellulosique</b> .....	07
<b>I.2.5 Généralité sur les palmiers dattier (PHOENIX DACTYLIFERA L)</b> .....	08
<b>I.2.5.1. les palmiers dattiers à travers le monde</b> .....	09
<b>I.2.5.2. les palmiers dattiers en Algérie et dans la région d'Adrar</b> .....	10
<b>I.2.5.3. les différents cultivars du palmier dattier</b> .....	10
<b>I.2.5.4. la variété Hmira</b> .....	12
<b>I.2.5.5. Les déchets lignocellulosique du palmiers dattier</b> .....	12
<b>I.2.5.6. les déchets des palmiers dattiers pour la bioénergie</b> .....	13
<b>a. Bioéthanol</b> .....	13
<b>b. Biohydrogène</b> .....	14

c. biométhane.....	14
<b>I.3. Méthanisation .....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.1. Définition.....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.2. Etapes de la méthanisation .....</b>	<b>15</b>
<b>I.3.2.1. Hydrolyse.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3.2.2. Acidogénèse.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3.2.3. Acétogénèse.....</b>	<b>16</b>
<b>I.3.2.4. Méthanogénèse.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4. Différents paramètres influençant la méthanisation.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4.1. Température.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4.2. pH .....</b>	<b>18</b>
<b>I.4.3. Absence de l'oxygène .....</b>	<b>18</b>
<b>I.4.4. Rapport C / N .....</b>	<b>19</b>
<b>I.4.5. Brassage.....</b>	<b>19</b>
<b>I.4.6. Pression partielle en hydrogène.....</b>	<b>19</b>
<b>I.4.7. Humidité.....</b>	<b>20</b>
<b>I.4.8. Temps de rétention hydraulique (TRH).....</b>	<b>20</b>
<b>I.5. Biogaz.....</b>	<b>20</b>
<b>I.5.1. Définition et composition.....</b>	<b>20</b>
<b>I.5.2. Valeur énergétique .....</b>	<b>22</b>
<b>I.5.3. Purification du biogaz.....</b>	<b>22</b>
<b>I.6. Les avantages et inconvénients de la digestion anaérobie.....</b>	<b>23</b>
 <b>CHAPITRE II : Matériel et méthode</b>	
<b>II.1. Origine et caractérisation du substrat utilisé .....</b>	<b>24</b>
<b>II.2. Prétraitement du substrat.....</b>	<b>24</b>
<b>II.3. Description du digesteur et dispositif utilisé .....</b>	<b>25</b>
<b>II.4. Conditions opératoires.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5. Méthodes d'analyses.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.1. Détermination de taux la matière sèche (MS) .....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.2. Détermination de la teneur en matière organique (MO).....</b>	<b>27</b>
<b>II.5.3. Paramètre suivis.....</b>	<b>28</b>

<b>II.5.3.1.</b> pH.....	29
<b>II.5.3.2.</b> Volume de biogaz produit .....	29
<b>II.5.3.3.</b> La détermination des DCO .....	30
<b>II.5.3.4.</b> La détermination des AGV.....	32
<b>II.5.3.5.</b> La détermination des TAC.....	31
<b>II.5.4.</b> Inflammabilité du biogaz.....	31
<b>CHAPITRE III : Résultats et discussion</b>	
<b>III.</b> Caractérisation du substrat.....	34
<b>III.1. Enquête sur terrain</b> .....	34
<b>a.</b> Description des différents déchets lignocellulosiques du palmier dattier de la variété H'mira.....	34
<b>b.</b> Nombre moyen de chaque déchet par palmier.....	36
<b>c.</b> Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier.....	37
<b>d.</b> Poids moyen globale de chaque déchet par palmier.....	39
<b>III.2. Analyse physico-chimique des pétioles et des folioles</b> .....	39
Taux de la matière sèche .....	39
<b>III. 3.</b> Évolution des paramètres de fonctionnement.....	40
<b>III.3.1.</b> Évolution du pH .....	40
<b>III.3.2.</b> Évolution du DCO.....	41
<b>III.3.3.</b> Évolution des AGV.....	42
<b>III.3.4</b> Évolution des TAC.....	43
<b>III.3.5.</b> Évolution rapport AGV/TAC.....	44
<b>III.3.6.</b> Production de biogaz.....	44
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	46
<b>REFERENCES</b> .....	48
<b>Les Annex</b> .....	56

## liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 01:</b> programme des énergies renouvelables actualisé pour installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national.....	04
<b>Figure 02:</b> Different resource de la biomasse.....	06
<b>Figure 03:</b> schéma du palmier dattier.....	09
<b>Figure 04:</b> la production mondiale des dattier 2007-2018.....	09
<b>Figure 05:</b> Évolution de la production de dattes en Algérie entre 2016 et 2017, par type de datte(en milliers de quintaux).....	10
<b>Figure 06:</b> Nombre de palmiers dattiers productifs dans la wilaya d'Adrar. (D.S.A. d'Adrar, 2013).....	12
<b>Figure 07:</b> Principales étapes de la digestion anaérobie et leurs groupes de microorganismes respectifs.....	16
<b>Figure 08:</b> Composition du biogaz des déchets des bovins (en % volumique).....	20
<b>Figure 09 :</b> Equivalences énergétiques de 1 m <sup>3</sup> de méthane.....	22
<b>Figure 10 :</b> Schéma de la hampe florale .....	36
<b>Figure 11 :</b> les Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier .....	38
<b>Figure 12 :</b> Evolution de PH en fonction du temps durant la digestion anaérobie des folioles et pétiole.....	40
<b>Figure 13 :</b> Evolution de la DCO en fonction du temps .....	41
<b>Figure 14 :</b> Evolution de L'AGV en fonction du temps.....	42
<b>Figure 15 :</b> Evolution de la TAC en fonction du temps.....	43
<b>Figure 16 :</b> l'évolution de rapport AGV/TAC en fonction du temps .....	44
<b>Figure 17 :</b> Evolution de la production quotidien en biogaz en fonction du temps.....	44
<b>Figure 18 :</b> Cumulation de biogaz en fonction du temps.....	45

## liste des photo

Photo	Page
<b>Photo 01</b> : Les Substrat utilisé.....	24
<b>Photo 02</b> : Les pétiole avenet est après le nettoyage .....	24
<b>Photo 03</b> : Les Substrat utilisé apres le beroyage .....	25
<b>Photo 04</b> : Le digesteur utilisé remplie par liniculume et substrat .....	25
<b>Photo 05</b> : Les réacteurs dans un bain marie chauffé et régulé à 37°C.....	26
<b>Photo 06</b> : l'étuve utiliser et réglée à 105 c° .....	27
<b>Photo 07</b> : Le dessiccateur utiliser pour la refroidissement.....	27
<b>Photo 08</b> : Le substra après sechage .....	27
<b>Photo 09</b> : Four à moufle utiliser.....	28
<b>Photo 10</b> : Le substra après calcination .....	28
<b>Photo 11</b> : La méseur de pH.....	29
<b>Photo 12</b> : Dispositif de mesure du volume du biogaz produit.....	30
<b>Photo 13</b> : la prélevement de l'échantillon .....	31
<b>Photo 14</b> : les tube après la centréfication .....	31
<b>Photo 15</b> : l'Echantillon après la dulution .....	31
<b>Photo 16</b> : la préparation des tube prés a l'emploi .....	31
<b>Photo 17</b> : le thermo réacteur .....	31
<b>Photo 18</b> : le Teste d'inflammabilité du biogaz produit.....	33
<b>Photo 19</b> : palme séché .....	34
<b>Photo 20</b> : pétiole.....	35
<b>Photo 21</b> : spathe male et female.....	35
<b>Photo 22</b> : lif du palmier dattier.....	36
<b>Photo 23</b> : régime de dattier. ....	36

## Liste des Tableaux

Tableaux	Page
<b>Tableau 1.</b> les différents génération de la biomasse.....	07
<b>Tableau 2.</b> les différents cultivars des palmier en Algérie avec La teneur en sucres des dattes .....	11
<b>Tableau 3 :</b> Données statistiques phoenicicoles (nombre de palmiers dattiers productifs et production) de la wilaya d'Adrar (D.S.A. d'Adrar, 2013).....	11
<b>Tableau 4 :</b> Effet de l'oxygène sur les différentes phases de la digestion anaérobie.....	19
<b>Tableau 5 :</b> Composition caractéristique des biogaz en fonction des substrats et des procédés de production OM / STEP / ISDND .....	21
<b>Tableau 6:</b> les différents composés et leurs techniques d'élimination .....	23
<b>Tableau 7 :</b> Nombre moyen de chaque déchet par palmier.....	37
<b>Tableau 8 :</b> Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier.....	38
<b>Tableau 9 :</b> Poids moyen globale de chaque déchet par palmier .....	39
<b>Tableau 10 :</b> le taux de la MS et le MO avant et après la digestion .....	40

### Abréviation

AGV	Acide Gras Volatile
C/N	Rapport Carbone / Azote
CSP	solaire thermodynamique
DCO	Demande Chimique en Oxygène
D.S.A	Direction des Services Agricole de la Wilaya d'Adrar
J	Jour
ISDND	Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux
GES	gaz à effet de serre
M	Masse
MS	Matière Sèche
MO	Matière Organique
OM	Ordures Ménagères
PV	solaire photovoltaïque
PED	Pays En Développement
STEP	Station d'Épuration
TRH	Temps de Rétention Hydraulique
V	Volume
% V	pourcentage en Volume



**Introduction générale**



### Introduction

La croissance démographique dans le monde est en développement continue, avec la quelle la demande énergétiques augmente. En même temps la quantité des déchets produits augmente en raison de l'augmentation de cette demande, ce qui conduit à une augmentation des prix des carburants à base de pétrole. L'épuisement futur des réserves mondiales de pétrole et les politiques environnementales visant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> ont stimulé la recherche sur le développement de la biotechnologie pour produire une énergie propre à partir de ressources renouvelables [1] .

L'une de ces ressources renouvelables est la biomasse, ce mots regroupe toutes les matière organique d'origine végétale ou animale [2], soit pour la consommation humaine ou comme des déchets d'agricultures et les industries agroalimentaires. Ces déchets ne sont pas utilisés dans une grande gamme des activité dans le monde et la plupart sont détruite et brules seulement pour le nettoyage de l'espace, ce qui contribue de manière significative à la pollution de l'environnement. L'exploitation de ces déchets par les technologies disponibles aujourd'hui permet de protéger l'environnement et de produire l'énergie renouvelable sous forme de bioénergie.

Les palmiers dattiers ( *PHOENIX DACTYLIFERA L* ) considérées comme l'une des culture les plus importantes dans les zones arides et sahariennes en raison de son nombre et sa distribution, et en raison de ses valeurs nutritionnelles. Ces palmiers dattiers devient une source important de déchets dans chaque cycle de production des fruits ( dattier ) elle résulte une grande quantité des déchets représentés dans les élément sèche ( les foliole et les pétiole ... etc ) , ces élément sont renouveler chaque année et en grande quantité . Ce déchets de palmier dattier sont riche en sucre et on matière lignocellulosique en raison de leur origine végétale ce que offre la possibilité de produire la bioénergie en utilisant des micro-organisme dans les processeurs de la digestion anaérobique .

La zone désertique en Algérie représente plus de 80% de sa superficie totale, ce que représente un excellent milieu pour la croissance et la production des dattiers. La superficie occupée par la culture du palmier dattier couvre 160 000 ha qui représentent actuellement plus de 18 millions de palmier, avec une production des dattes plus de 700 000 tonne de 190 différents type de palmier [3], parallèlement, par ce grand nombre de production des dattier on obtient aussi une grande quantité de déchets après la saison de récolte des dattes. Ces déchets donnent une valeur importante dans la production des biocarburants .

Particulièrement dans la région d'Adrar l'emplacement où l'étude a été menée, le nombre des palmier dattier noter par le DSA et plus de 3 million palmier dans des différents type. La plus grande

variété a été enregistrée à la palme *H'mira* a une valeur de nombre atteint 1.6 million palmier ce que traduit des tonnages des déchets non utilisés produit à chaque cycle de production de ces palmiers.

Cette étude est consacrée à l'utilisation de ces déchets pour étudier la production de biogaz en utilisant la technologie de digestion anaérobie. Plus précisément une comparaison entre les folioles et les pétioles de palme dattier *PHOENIX DACTYLIFERA L* " variété *H'mira* ", ces deux déchets représentent la majorité des déchets accumulés chaque année, et la majorité sont brûlés à l'air libre.

Le biogaz produit a une valeur énergétique proche du gaz naturel, il peut facilement être valorisé dans les applications domestiques comme la cuisson, jusqu'à la production d'électricité [4]. Il constitue une énergie renouvelable moins coûteuse, aussi peu diminuée la grande demande sur les produits à base de pétrole et peut être remplacé directement dans le futur.

Cette étude sera organisée comme suit :

Commence par une introduction générale qui représente le but de l'étude et identifie précisément la problématique du travail.

Ensuite, le premier chapitre sous forme d'une étude bibliographique sur les énergies renouvelables, la biomasse lignocellulosique, les palmiers dattiers *PHOENIX DACTYLIFERA L* " variété *H'mira* " et la technologie de digestion anaérobie.

Le deuxième chapitre présente l'investigation sur terrain et au laboratoire avec le matériel utilisé ainsi que les différentes techniques d'analyses.

Le troisième chapitre regroupe les résultats obtenus avec les discussions.

Enfin, le mémoire est terminé par une conclusion générale.



# **Chapitre I :**

## **Etude bibliographique**

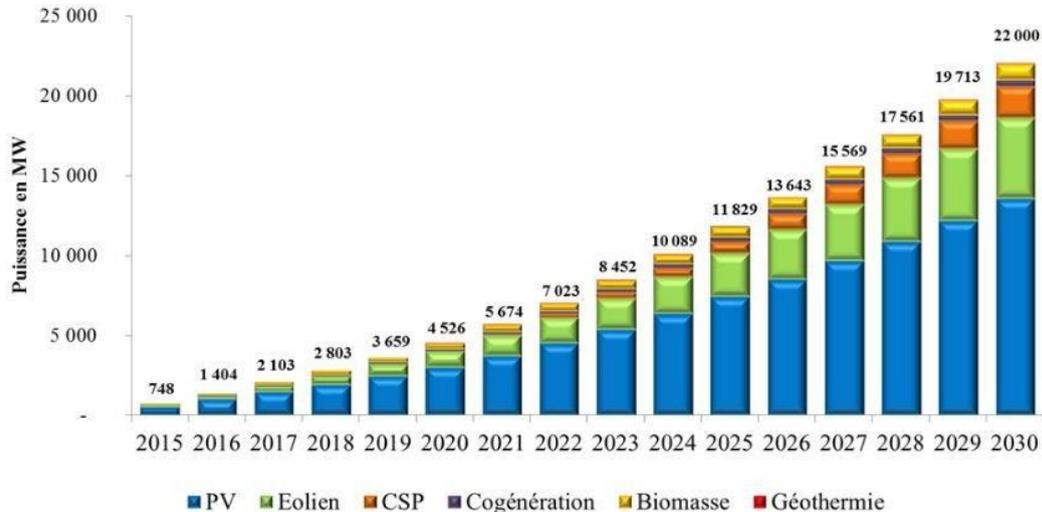


## I. Energie renouvelable

### Introduction :

L'énergie renouvelable est définie comme toute énergie qui provient d'une source naturelle renouvelable (soit eau, soleil, vent, croissance végétale...etc ). Ils sont aussi appelés énergies vertes, puisqu'elles n'exercent que peu d'impact négatif sur l'environnement et la santé humaine, en particulier, leur exploitation ne donne pas lieu à des émissions de gaz à effet de serre ou à des déchets dangereux [ 5].

L'économie de l'Algérie est basée sur les hydrocarbures depuis l'indépendance, qui sont considérées comme énergie non renouvelable, ce qui constitue un danger pour l'économie à l'avenir. Pour cette raison et vu que l'Algérie est caractérisée par une large superficie de plus de 2,3 millions de kilomètres carrés, dont le Sahara représente 80% [6], les énergies renouvelables représentent une solution prometteuse. Le gouvernement Algérien lance une dynamique d'énergie verte en se basant sur un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement Algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire, l'éolienne, la biomasse et la géothermie et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de future. La Figure 1 donne un aperçu à propos du programme prévisionnel de développement des énergies renouvelables en Algérie. [7]



**Figure 1:** programme des énergies renouvelables actualisé pour installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national [7].

#### I.1.1. Les différentes sources des énergies renouvelables :

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir des sources différentes:

**I.1.1.1. Photovoltaïque :**

Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire par l'utilisation des capteurs spécifiques ou des panneaux solaires photovoltaïques afin d'absorber l'énergie des rayons solaire (les photons) et transformée directement en électricité (les électrons) par des cellules photovoltaïque [8] .

**I.1.1.2. Eolienne :**

Cette énergie est basée sur le principe de l'énergie cinétique du vent, qui repose sur la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique par un déplacement d'une masse solide (à l'aide d'éoliennes) à l'intérieur de l'atmosphère et transféré vers un générateur qui produit l'électricité , Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) et les structures des capteurs sont de plus en plus performantes[8].

**I.1.1.3. Thermique :**

L'énergie solaire thermique est basée sur la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique et utiliser soit directement pour le chauffage ou indirectement par la production de la vapeur d'eau, ensuite transféré pour tourner les alternateurs de production d'énergie électrique .

Le solaire thermique est utilisé pour des différents aspects : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau solaire, cuisinières et sècheurs solaires [9].

**I.1.1.4. Biomasse :**

Ce terme de biomasse désigne tous les matières organiques d'origine végétale ou animale (les résidus et déchets agricoles et agro-industriels, les cultures énergétiques et les résidus et déchets forestiers), spontanée ou cultivée par l'homme produite directement ou indirectement par le processus de photosynthèse impliquant la chlorophylle.

Parmi tous ces types d'énergie nous avons choisi la biomasse et plus précisément les déchets de palmier dattier et classer dans la biomasse d'origine végétale et particulièrement dans les résidus et déchets agricoles. Parmi ces déchets il y a les folioles et les pétioles qui sont considérés comme des biomasses lignocellulosiques. Ces deux éléments de palmier dattier sont disponibles en abondance et renouvelables chaque année en grandes quantités, mais ils ne sont pas exploités dans le domaine de l'énergie car ils sont détruits ou brûlés en général, et même s'ils sont exploités, ils sont utilisés dans le domaine agricole en petites quantités, donc cette étude représente la valeur énergétique de production de biogaz par la digestion anaérobie [2].

**I.2. Biomasse :**

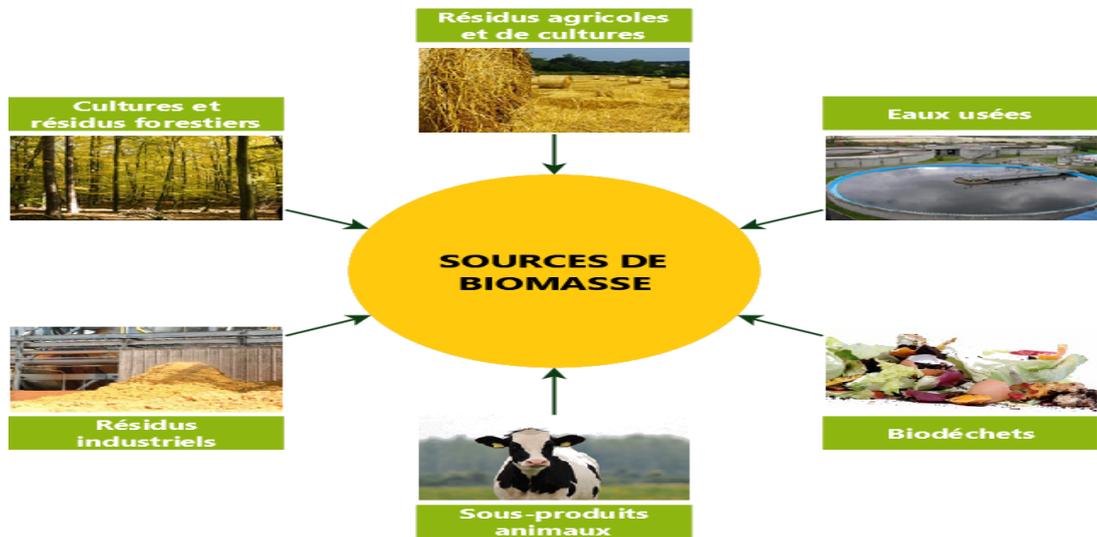
**I.2.1. Définition :** La biomasse concerne toutes les matières organiques générées soit sous forme de déchets tels que les déchets municipaux solides, soit à partir de plantes vivantes telles que les arbres, l'herbe et les cultures et résidus agricoles. La composition de ces matières organiques affectera la manière dont elles sont

manipulées et traitées. Même les différences variétales ou hybrides au sein d'une même culture peuvent également influencer les caractéristiques de transformation .[10]

Toutes ces matières organiques peuvent devenir une source d'énergie soit par combustion directe comme (ex : bois énergie), soit après bioconversion en utilisant des technologie de la bioénergie come la méthanisation (biogaz) ou la fermentation alcoolique (bio-carburant).[11]

**I.2.2. Ressources de la biomasse :**

Les ressources de la biomasse sont variées selon le rôle d'utilisation . La première ressource utilisée est le bois et ses déchets (64 %) [12], les déchets sont la deuxième source de bioénergie, ces déchets regroupent les déchets urbains et industriels, déchets d'agriculture, ainsi que les déjections animales [13]. D'autre part, l'utilisation de ces déchets contribue à réduire la pollution de l'environnement et l'exploitation des ressources renouvelables.



**Figure 2:** Different resource de la biomasse[14].

**1.2.3.Génération de la biomasse :**

La demande mondiale et toujours croissante sur les carburants liquides et gazeux ainsi que les préoccupations environnementales écrasantes concernant les émissions de gaz à effet de serre ont poussé les scientifiques et les technologues à envisager différentes sources d'énergie alternatives. Au cours des dernières décennies, plusieurs sources de biomasse ont été identifiées avec un potentiel croissant pour être utilisées comme nouvelles sources d'énergie alternatives ( les biocarburants) [15]. ces source de biomasse sera classer on 4 génération de la biomasse différents , le tableau suivants présenter ces 4 génération avec la technologie utiliser pour la production de biocarburant et les produit finie de chaque génération[15] [4] :

**Tableau 1.** les différents génération de la biomasse . [15]

Génération	Matières premières	Technologie de traitement	Produit résulté
<b>1<sup>er</sup> génération</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Graines oléagineuses.</li> <li>- cultures vivrières .</li> <li>- graisses animales .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estérification et transestérification d'huiles .</li> <li>- Fermentation des sucres .</li> <li>- Les procédés thermochimique .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodiesel .</li> <li>- Bioéthanol .</li> <li>- Biobutanaol .</li> </ul>
<b>2<sup>ème</sup> génération</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Huile de cuisson usée provenant de graines oléagineuses non comestibles .</li> <li>- Matière premières lignocellulosiques : (paille de céréales, bagasse de canne à sucre, forêt Résidu )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physique, chimique, biologique.</li> <li>- Prétraitement de la matière première et fermentation .</li> <li>- Procédé thermochimique .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioéthanol .</li> <li>- Biobutanol .</li> <li>- Biodiesel .</li> <li>- Gaz de synthèse.</li> </ul>
<b>3<sup>ème</sup> génération</b>	Les Algues	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Culture d'algues</li> <li>- récolte</li> <li>- huile extraction</li> <li>- transestérification</li> <li>- fermentation</li> <li>- processus thermochimique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodiesel</li> <li>- Bioéthanol</li> <li>- Biobutanaol,</li> <li>- Gaz de synthèse</li> <li>- Biohydrogène</li> <li>- Méthane</li> </ul>
<b>4<sup>ème</sup> génération</b>	Les Algues et autres microbes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingénierie métabolique des algues avec l'augmentation de la capacité de piégeage du carbone</li> <li>- culture</li> <li>-récolte fermentation</li> <li>- extraction d'huile</li> <li>- transestérification</li> <li>- procédé thermochimique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodiesel</li> <li>- Bioéthanol</li> <li>- Biobutanaol,</li> <li>- Gaz de synthèse</li> <li>- Biohydrogène</li> <li>- Méthane</li> </ul>

**1.2.4. Biomasse lignocellulosique :** La biomasse lignocellulosique représente une des ressources renouvelables de la catégorie de 2<sup>ème</sup> génération et les plus abondantes sur terre, et certainement une des moins coûteuses. Les substrats de cette catégorie sont composés essentiellement par des éléments ligneux (feuillus et résineux), et les sous-produits de l'agriculture (paille) ou ceux des industries génératrices des déchets

lignocellulosiques (industries agroalimentaires, papeteries). Cette substrat lignocellulosique est composé par trois principales fractions:

- La cellulose qui constituée de 35 à 50 % de la biomasse lignocellulosique, qui est un polymère de glucose.
- La fraction hémicellulosique qui constituée de 20 à 30 % de la biomasse lignocellulosique, est aussi un polysaccharide qui essentiellement constitué de pentoses (dont le xylose et l'arabinose) et de glucose.
- la lignine qui constituée de 15 à 25 % de la biomasse lignocellulosique. Est un polymère de structure complexe à base de groupements phényles. [16]

Les déchets de palmier dattier incluse dans la catégorie des biomasse lignocellulosique au raisonne de l'origine végétale de ces déchets. La présente étude concerne deux types des déchets de palmier dattier à savoir les folioles et les pétioles. La partie qui suit un aperçu sur les palmiers dattier est développé.

#### **I.2.5.Généralité sur les palmiers dattier (PHOENIX DACTYLIFERA L):**

Le palmier dattier : *Phoenix dactylifera* L, provient du mot "*Phoenix* " qui signifie dattier chez les phéniciens, et dactylifera dérive du terme grec " dactulos" signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit [17].Le dattier est un arbre probablement originaire du golfe persique, cultivé dans les régions chaudes et humides. C'est une espèce dioïque, monocotylédone arborescente, appartenant à une grande famille d'arbres à palmes produisant des dattes [18] [19] . Il favorise grâce à son microclimat d'autres cultures sous-jacentes. [20]

**Systématique** :La classification botanique du palmier dattier donnée par [17] est la suivante:

**Groupe** : Spadiciflores .

**Ordre** : Palmales .

**Familles**: Palmacées.

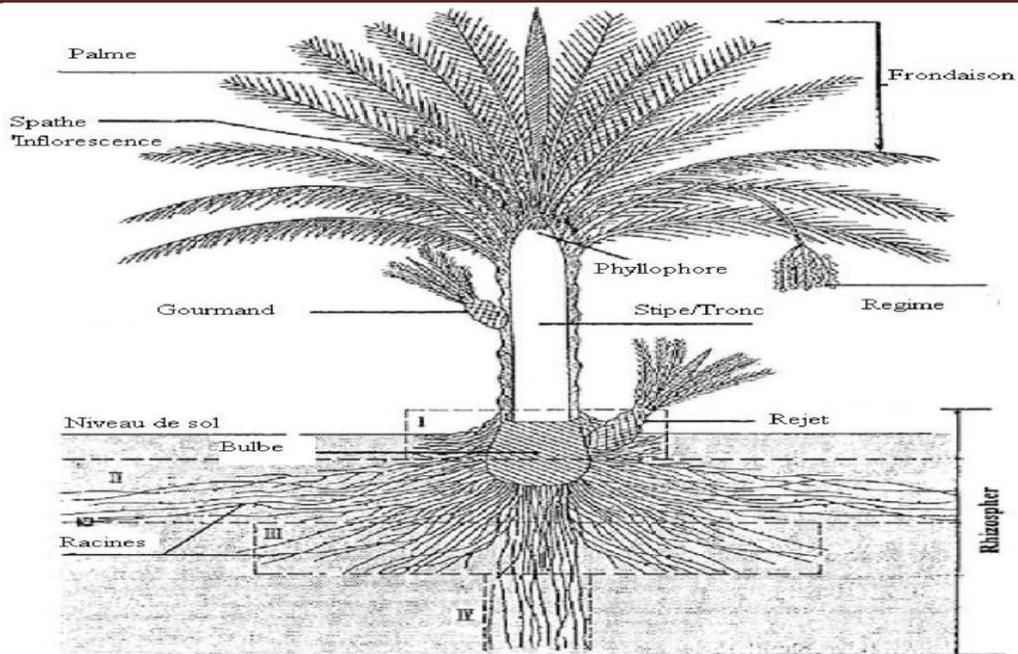
**Sous famille** : Coryfoïdées.

**Tribu** : Phoenicées.

**Genre** : *Phoenix*.

**Espèce** : *Phoenix dactylifera* L.

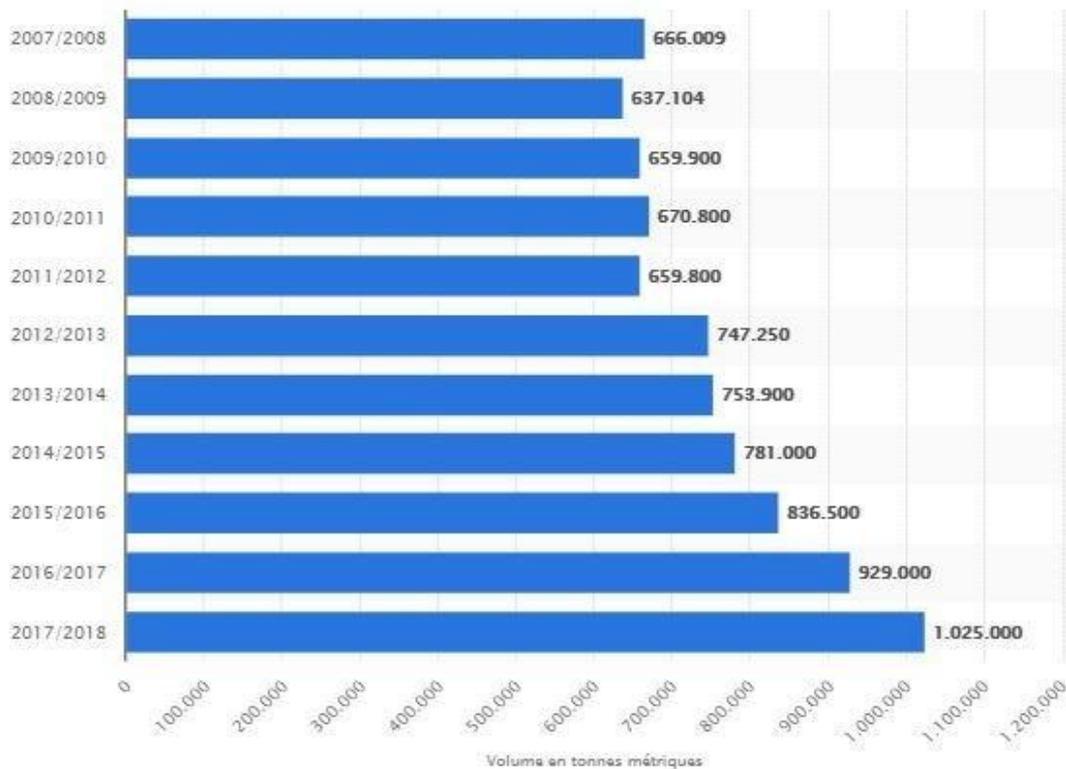
Le genre *Phoenix* comporte au moins douze espèces, dont la plus connue est *dactylifera* et dont les fruits " dattes " font l'objet d'un commerce international important[21]



**Figure 3:** schéma du palmier dattier [22].

**I.2.5.1.les palmier dattier à travers le monde :**

Les principaux pays producteurs de dattes dans le monde et l’Egypte, l’Irak, l’Iran, l’Arabie-Saoudite, l’Emirats Arabes Unis, le Pakistan, l’Algérie et le Soudan. La production mondiale de dattes selon les statistiques de 2019 est de 5.4 millions de tonnes [23]. La figure 4 montré le changement de capacité de production mondiale de dattier depuis l’année 2007 jusqu’  2018 [24].



**Figure 4 :** la production mondiale des dattier 2007-2018. [24].

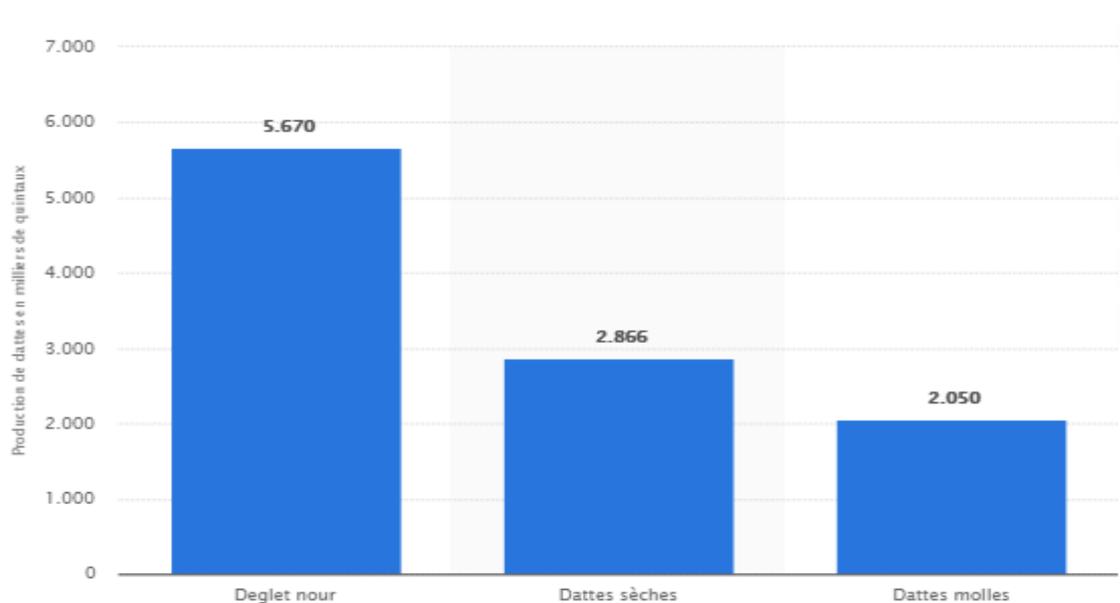
### I.2.5.2. Les palmiers dattiers en Algérie et dans la région d'Adrar :

En Algérie, la superficie occupée par la culture du palmier dattier couvre 160 000 ha qui représentent actuellement plus de 18 millions de palmier, avec une production annuelle moyenne de dattes de plus de 500 000 tonnes. En 2011/2012, la production de datte était de 700 000 tonnes avec plus de 30 000 tonnes pour l'exportation [3].

Les superficies des palmeraies diffèrent d'une wilaya à une autre. La superficie la plus importante concerne les wilayas de Biskra et d'El-Oued atteignant toutes les deux 53.533ha.

Pour la région d'Adrar est considéré comme un état principalement agricole, car il contenu plusieurs ressources naturelles qui lui ont permis de devenir une grande région d'exploitation dans ce domaine, et ces richesses se trouvent dans un sol fertile et une abondance d'eau, sans parler du climat approprié qui permet la croissance d'un grand nombre de cultures des palmiers.

En 2019, le nombre de palmiers a atteint environ de 3.198.759 palmiers répartis sur 190 différents types de palmiers [3]. La variété la plus dominante est celle de *H'mira* avec un nombre qui atteint les 1626450 palmiers, ce qui représente 42,81% du total des palmiers dans la régions(DSA d'Adrar 2020) .



**Figure 5:** Évolution de la production de dattes en Algérie entre 2016 et 2017, par type de datte(en milliers de quintaux)[25]

### I.2.5.3. les différents cultivars du palmier dattier :

La production de palmier dattier varie selon les cultivars dans des proportions différentes. ils y a des variété majeure, certaines secondaires, et d'autre rare, ces derniers causé par le noyau de palmier, qui sont souvent des variétés pauvres. Le tableau 2 suivants montres les différentes variétés des palmier en Algérie avec la teneur en sucres des dattes de chaque palmier.

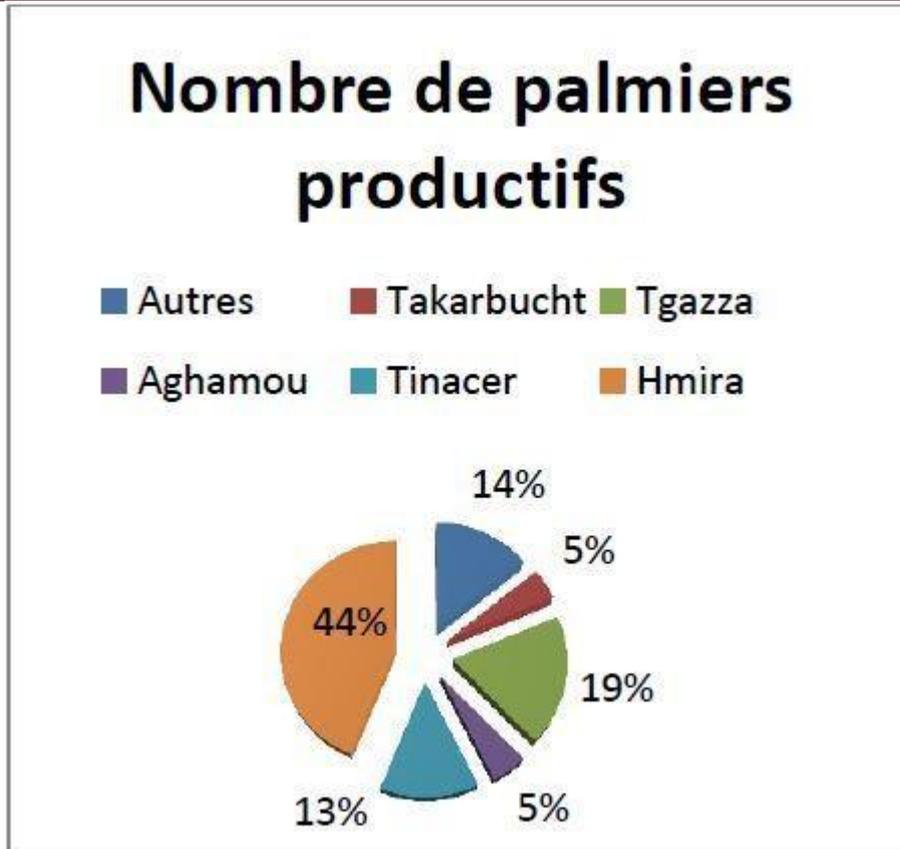
**Tableau 2.** les differentes cultivars des palmier en Algérie avec la teneur en sucres des dattes .[26]

Variétés	Sucre réducteurs en %	Saccharose en %	Sucres-totaux en %
Takerbouche	70.00	26.00	96.00
Tazerzaït	71.00	25.00	96.00
Deglet Nour	17.00	78.00	95.00
Ghars	90.00	3.00	93.00
Afqueali	71.00	19.00	90.00
Ahartane	70.00	19.00	90.00
Ferana	30.00	60.00	90.00
Tin Nacer	71.00	16.00	87.00
Tantbouch	76.12	1.18	77.30
Timlemsou	77.00	0.00	77.00
Tin Nakour	25.75	50.77	76.52
Timjouhart	72.18	2.66	74.84
Tanrimane	64.98	1.50	65.48
Tit Mellet	62.40	0.71	63.11
In Tekkoust	60.50	1.34	61.84
Inestenif	48.70	0.00	48.70
Tegaza	63.00	18.00	31.00

Le substrat utiliser dans cette étude et a partir des variété *H'mira* , ce que représente la variété dominante dans de la région d'Adrar , en même temps dans les autre régions d'Algerie il y a un production majeur des autre cultivars comme "Deglet Nour" a haut valeur de production dans la région de biskraa , le tableau 3 donner le nombre des majeur cultivars avec ces production des dattier dans la région d'Adrar :

**Tableau 3 :** Données statistiques phoenicicoles (nombre de palmiers dattiers productifs et production) de la wilaya d'Adrar (D.S.A. d'Adrar, 2013).

Types	Nombre total de palmiers	Nombre de palmiersproductifs	Production (Quintaux)
Hmira	1 609 654	1 182 316	386 921
Tinacer	511 476	364 549	104 081
Aghamou	181 600	132 150	34 792
Tgazza	679 510	513 845	178 288
Takarbuch	168 528	121 965	47 282
Autres	582 583	381 057	123 859



**Figure 6:** Nombre de palmiers dattiers productifs dans la wilaya d'Adrar. (D.S.A. d'Adrar, 2013).

#### I.2.5.4. la variété *H'mira* :

La distribution géographique du palmier H'mira qui appelé communément (Tilemsu) plus en plus au Touat et Gourara (région d'Adrar) qui on a signaler deux type ce sont :

- Tilemsou Lbayda .
- Tilemsou Lkahla

Mais il est peu rare au Tidikelt et dans l'Atlas [27] et dans les autre région d'Algerie , ce qui explique la haute valeur de production des dattier dans la wilaya d'adrar a une valeur environne de 21-25 kg de chaque palmier [28] avec un importance capacité des rejeter .

La maturité de ce cultivar ce fait dans le mois de juillet au tidikelt et en aout –septembre dans les autre lieu et la récolte ce fait dans le Spetembre – Octobre .la longueur et largeur de la palme sont 306 cm et 102 réspictivement avec un densité des pennes sur 50 cm égale à 34 aussi les épine du meme longueur est 19 et du milieu 11 cm [27] .

#### I.2.5.5. Les déchets lignocellulosique du palmiers dattier :

Les déchets Palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), l'une des plus importantes ressources renouvelables pourrait également être considéré comme une matière première pour la production d'énergie et

Les résidus sont utilisés dans diverses industries comme une matières premières dans des nombreuses applications telles que le bois , les panneaux de particules , la pâte et le papier , les composites bois-ciment , les composites bois-plastique et pour la production de biochar.

Chaque année les palmier nécessite un nettoyage ce que représente dans la période de récolte des dattier et des tonne des déchets telle que les foliole sèche, les pétiole sèche...etc , ces déchets sont riches en cellulose en hémicelluloses et en lignine[29].De plus, les déchets de taillage de palmier dattier en générale sont sèche caractérisés par une teneur élevée en solides volatils et une faible teneur en humidité. Ces facteurs rendent la biomasse du palmier dattier une excellente ressource de valorisation énergétique des déchet et la production de biogaz dans les usines de digestion anaérobie par co-digestion avec des boues d'épuration, des déchets animaux et / et des déchets alimentaires[30][31]. Ces différents processus peut-être transformé Le contenu cellulosique présente dans les déchets en biocarburant (bioéthanol) et en biogaz et differents produit chimique.

#### **I.2.5.6.Les déchets des palmiers dattiers pour la bioénergie:**

Au cours des années 1980, une série d'enregistrements records a marqué le début des procédures de précaution pour un problème étudié depuis plus d'un siècle: le réchauffement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES) .

De 1850 à 1989, les niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique (principalement responsable du problème de l'ozone, avec le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O) sont augmenté d'environ 25%, en raison de la combustion de combustibles fossiles et des activités agricoles [32].

La première proposition pour résoudre ce problème a été le développement d'une nouvelle méthode et ressource pour la production d'énergie , à moindre impact environnemental, puis d'émissions de GES. Pour ce raison , il a été découvert la biomasse pour la bio énergie [33] , et parmi les ressource de la biomasse utiliser jusqu'à nous jour et les déchet produit des palmier dattier a travers le monde pour la production essentiellement de la bioéthanol et la biogaz avec les autre produit énergétique .

#### **a-Bioéthanol**

Le biodiesel en tant que carburant prometteur pour l'avenir est un mélange d'esters mono alkyliques et d'acides gras à longue chaîne , principalement fournis par la transestérification des huiles et des chaînes courtes , alcools avec des catalyseurs appropriés Possédant des avantages considérables tels que la biodégradabilité, de polluants organiques et de composés chimiques, ainsi que ses attributs similaires au diesel dérivé du pétrole. le biodiesel a attiré l'attention mondiale notable en tant que source d'énergie renouvelable et respectueuse de l'environnement [33].

Les déchet de palmier dattes à part leur grande richesse en lignocellulosique et leur pouvoir de conservation relativement longue peuvent constituer un substrat de choix pour produire de nombreuses substances à forte valeur ajoutée tel que l'éthanol [34], les étude fait dans ce role résulté des bon résultat de

l'éthanol produit par exemple d'une rendement de bioéthanol a  $52,67\% \pm 1,50$  par le prosesseuse de pyrolyse sur les pierres de datte (Phoenix dactylifera L)[35].

### **b-Biohydrogène :**

L'hydrogène est l'une des réponses à la crise énergétique prévisible et à la pollution environnementale. Il est préféré au biogaz ou au méthane car le  $H_2$  n'est pas lié chimiquement au carbone et par conséquent la combustion ne contribue pas aux gaz à effet de serre ou aux pluies acides . L'hydrogène est produit principalement à partir de gaz naturel dans les usine de raffinage de pétrole brut , une ressource finie par le processus de reformage à la vapeur, un processus qui génère de grandes quantités de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) qui est une des principales causes du réchauffement climatique [36] . a nous jours avec la développement technologique et les étude réaliser sur la digestion aérobie sont donner une possibilité de production de l'hydrogène par des bactéries anaérobies , le premier étape Un facultatif anaérobie, pour consommer de l' $O_2$  , un deuxième étape fermentatif d'anaérobie stricte conditions pour foncé  $H_2$ . Par la suite, une troisième étape photo fermentation été réalisée pour la production finale de  $H_2$  [37]. Le palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) est l'un des arbres fruitiers les plus importants du monde arabe et de certains pays voisins et représente une bonne culture commerciale pour de nombreux agriculteurs , Des rendements de l'ordre de  $162 \text{ g / L}$  de  $H_2$  a été obtenus par la fermentation de 1 kg des dattes fraîches pourries ce que considéré comme l'un des déchet de palmier dattier [36] .

### **c-biométhane**

La digestion anaérobie s'est avérée être une méthode efficace de traitement des déchets organiques et aussi la production de biogaz sous forme d'énergie verte, ce procédé présente des avantages supplémentaires. Celles-ci incluent la production de carburant organique, une réduction des effets toxiques et pathogènes, la réduction des odeurs et des émissions de gaz à effet de serre et une réduction de la germination des mauvaises herbes [37]. Dans le processus de la MA, les micro-organismes transforment la matière organique solide en méthane et en gaz carbonique. Le processus est complexe et implique une gamme d'associations microbiennes vivant dans des relations symbiotiques. l'avantage de cette technologie sera utiliser pour les dechets lignocellulosique des palmie dattier ,une rendement moyen de biogaz plus élevé obtenu était de  $342,2 \text{ L}$  de gaz / kg des déchets solides introduits dans le digesteur[38], ces déchet peut être convertie en biocarburant par catalyse avec acide dilué, concentré acide ou enzymes appelées cellulases. la digestion Anaérobie de la matière organique peut être appliquée aux deux déchets liquides et semi-solides[39] .

En l'absence d'oxygène, la cellulose se dégrade par la communauté anaérobie et se tranforme en  $CH_4$ ,  $CO_2$  et  $H_2O$  à travers un complexe microbien chaîne alimentaire [40] , Le processus peut être divisé en quatre étapes, à savoir l'hydrolyse,acidogenèse, acétogenèse et méthanogenèse[41]. La cellulose est hydrolysée par les enzymes cellulases produites par cellulolytique bactéries en sucres mono saccharidiques et un peu de

Glucose ) . Ces sucres sont fermentés en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  et gras acides (acétate, butyrate et propionate) par d'autres cellulolytiques et autres saccharolytiques microorganismes. A la troisième étape, les homoacétogènes utilisent  $\text{H}_2$  pour réduire le  $\text{CO}_2$  en acétate. En plus de l'activité des bactéries qui fermentent les graisses Acides en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  et l'acétate . Les méthanogènes consomment  $\text{H}_2$  pour réduire le  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$ , et certains méthanogènes espèces convertissent une partie de l'acétate produit en  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$ . Les bactéries syntrophiques jouent un rôle clé dans la décomposition de la cellulose. Celles-ci les organismes se développent très lentement, et seulement dans la présence d'organismes consommateurs de  $\text{H}_2$ . Ainsi, la fermentation des acides gras est généralement la étape de la décomposition anaérobie de cellulose[40][41]).

### **I.3.Méthanisation :**

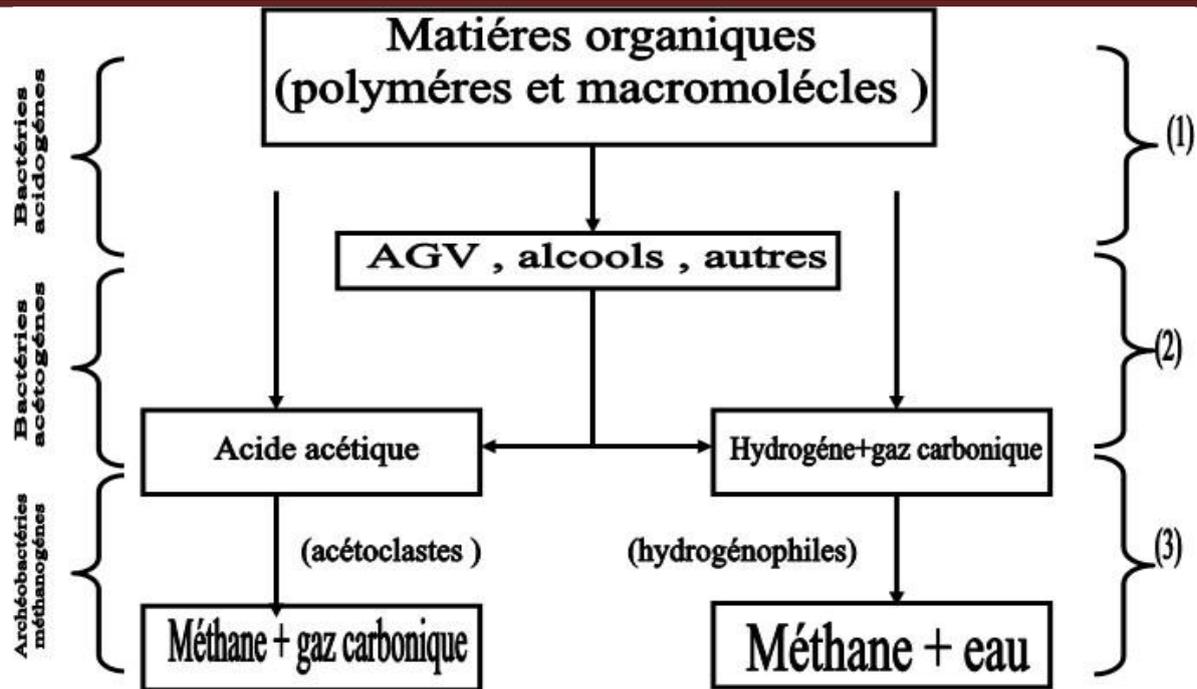
#### **I.3.1.Définition :**

La méthanisation, ou encore appelée «digestion anaérobie » est la transformation de la matière organique en biogaz, composé principalement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique( $\text{CO}_2$ ), par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène [42] , En plus de ces produits, on peut trouver aussi sous forme de traces de l'azote ( $\text{N}_2$ ), de l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) et de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) faisant intervenir essentiellement [43] . La méthanisation se produit naturellement dans les marais, les lacs, les intestins des animaux et de l'homme et de manière générale dans tous les écosystèmes où la matière organique se trouve en situation anaérobie[42].

La méthanisation encore peu réalisée dans les digesteurs aussi appelé réacteur à biogaz ou méthaniseur qui sont assurés les conditions opératoires de réalisation de la méthanisation.

#### **I.3.2.Etapes de la méthanisation :**

Les étapes intermédiaires à la formation de méthane sont ici résumées pour faciliter la compréhension de l'ensemble du processus et un contrôle effectif de la mise en opération des digesteurs anaérobies. Le figure 7 présente l'ensemble des voies métaboliques, avec leurs groupes de micro-organismes respectifs, en 3 étapes principales : (1) l'hydrolyse et acidogénèse ; (2) l'acétogénèse ; (3) la méthanogénèse. [44]



**Figure 7:**Principales étapes de la digestion anaérobie et leurs groupes de microorganismes respectifs[44].

### I.3.2.1.Hydrolyse :

Les micro-organismes dits hydrolytiques (une grande diversité de bactéries et également des champignons dans le cas où l'étape d'hydrolyse serait effectuée en présence d'oxygène) produisent des enzymes hydrolytiques qui dégradent les particules solides et les polymères (solubles et non solubles) à longues chaînes carbonées (protéines, polysaccharides, lipides) en composés monomères et dimères (sucres, acides organiques, acides aminés, etc.). Une fois solubilisées, les substances organiques sont disponibles pour être assimilées par le 2<sup>ème</sup> groupe de micro-organismes appelés génériquement bactéries acidogènes. [44]

### I.3.2.2.Acidogénèse:

Les bactéries fermentatives réalisent l'acidogénèse ou fermentation des substances monomères organiques en hydrogène ou formate, dioxyde de carbone, pyruvate, AGV (acides acétique, propionique, butyrique, valérique, etc.) et autres produits organiques (éthanol, cétones ou acides lactique, succinique, etc.). L'acidogénèse est généralement déterminante pour l'équilibre de l'ensemble du processus de digestion anaérobie, en raison des molécules intermédiaires d'hydrogène et d'AGV produites simultanément lors de cette étape. En effet, l'accumulation d'hydrogène peut inhiber l'acétogénèse et la méthanisation acétoclaste, conduisant ainsi à une accumulation des AGV. L'accumulation d'AGV conduit à une baisse de pH et inhibe par conséquent l'ensemble du processus de digestion anaérobie. [44]

### I.3.2.3.Acétogénèse :

Les vitesses réactionnelles de l'acétogénèse sont généralement lentes et soumises à des problèmes d'inhibition liée à la présence de l'hydrogène qui modifie l'équilibre thermodynamique des réactions. Au cours de cette étape, les intermédiaires métaboliques sont transformés par 3 principaux groupes bactériens :

- 1) Les bactéries acétogènes productrices obligées d'hydrogène (bactéries syntrophiques) oxydent les composés préalablement réduits (alcools et AGV) en hydrogène, gaz carbonique, et acétate. [44]
- 2) Les bactéries homoacétogènes réalisent la respiration acétogénique des bicarbonates, le catabolisme des mélanges d'hydrogène et de dioxyde de carbone et la production d'acide acétique, entrant ainsi en compétition avec les bactéries méthanogènes pour l'hydrogène.
- 3) Les bactéries sulfato-réductrices oxydent les composés réduits (alcools, acides butyrique et propionique) en dioxyde de carbone et acétate, puis l'acétate en dioxyde de carbone. L'hydrogène est également oxydé en présence des sulfates. [44]

#### **I.3.2.4.Méthanogénèse :**

La méthanogénèse est réalisée en condition anaérobie stricte, avec des potentiels d'oxydo-réduction très bas, et suivant 2 voies principales par des archées, du groupe des micro-organismes dits «extrémophiles»:

- 1) Les archées (anciennement appelées archéobactéries) dites acétoclastes, principalement les genres *Methanosarcina* et *Methanotrix* convertissent l'acide acétique en méthane et dioxyde de carbone. Ces archées ont des taux de croissance relativement lents, avec des temps de doublement de population d'environ 24 heures, affectés par la pression partielle d'hydrogène.
- 2) Les archéobactéries dites hydrogénophiles, en particulier les genres *Methanobacterium* et *Methanococcus*, réduisent le gaz carbonique par respiration méthanogène, en présence de l'hydrogène pour produire du méthane et de l'eau. Elles ont une croissance plus rapide que les acétoclastes, avec des temps de doublement compris entre 4 et 6 heures. D'autres substrats comme le méthanol et l'acide formique peuvent également être consommés par ces micro-organismes. [44]

#### **I.4.Différents paramètres influençant la méthanisation :**

La digestion anaérobie est l'un des procédés qui doit se dérouler dans des conditions environnementales maîtrisées. Une certain paramètres doivent respecter pour assurer un bon fonctionnement du procédé .

##### **I.4.1.Température :**

La température opérationnelle à l'intérieur du digesteur est l'un des paramètres majeurs du processus de production de biogaz. Elle a un effet sur le niveau d'activité biométhanogène, la durée de la fermentation et sa stabilité. Desai (1988), rapporté par Yadvika et al. (2004), a remarqué que lorsque la température du digesteur était maintenue à 40°C il était possible de réduire le temps de rétention de plus de 40%.

Généralement, 3 intervalle de température sont retenues pour la digestion anaérobie, avec des avantages et des limitations spécifiques :

- 1) **a digestion anaérobie psychrophile** (<25 °C) qui favorise souvent une activité méthanogène limitée . **L**
- 2) **La digestion anaérobie mésophile** (25–40 °C) qui représente la plage optimale pour la production de biogaz .

3) **La digestion anaérobie thermophile:** (45 à 65°C), souvent associée à une production méthanogène plus importante. En effet, les processus thermophiles deviennent plus rapides, mais également plus instables et moins efficaces économiquement [49].

Les réacteurs biologiques fonctionnant entre 25 °C et 35 °C sont généralement les plus utilisés pour leur plus grande stabilité [50] et pour être plus adaptés aux conditions tropicales de la plupart des PED, sans besoin de recours à une source de chaleur extérieure. Dans ces conditions, des mesures assez simples sont généralement préconisées pour gérer la température interne du digesteur. Le digesteur anaérobie est généralement orienté de façon à profiter d'une insolation maximale[44]. Il peut également être enterré ou recouvert de résidus végétaux disponibles localement pour éviter des variations journalières importantes de température auxquelles la microflore méthanogène est particulièrement sensible. Dans le même temps, ces pratiques permettent de limiter et de minimiser les pertes de chaleur dans le digesteur par échange avec son environnement [52].

#### **I.4.2.pH :**

Le pH est un paramètre essentiel car l'écosystème de la digestion anaérobie. En particulier les organismes méthanogène, est sensible à la variation de pH. Celui-ci a également un effet indirect sur le fonctionnement du système par la modification des équilibres chimiques des acides et des bases faible, notamment les AGV, le sulfure d'hydrogène et l'ammonium dont les formes non ionisées peuvent inhiber la méthanisation. Il est donc important de suivre le pH et, si nécessaire, de l'ajuster dans l'alimentation ou de le réguler automatiquement dans le digesteur. Le pH optimum de la méthanisation se situe autour de la neutralité, entre 6.5 et 8.5. Un élément important pour le maintien du pH est l'alcalinité du digesteur.[45]

#### **I.4.3.L'absence d'oxygène:**

L'oxygène est évidemment un inhibant (réaction anaérobie), cependant une petite quantité d'oxygène n'inhibe pas totalement et immédiatement la production de biogaz. En effet, certains groupes de bactéries, appelées anaérobies facultatives, peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries anaérobies strictes). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes, qui sont anaérobies strictes.[46]

Le tableau 4 suivent représenter l'influence de ph sur la différents étapes de la méthanisation :

**Tableau 4** : Effet de l'oxygène sur les différentes phases de la digestion anaérobie. [41]

<b>méthanogénèse</b>	<b>Acétogénèse</b>	<b>Acidogénèse</b>	<b>Hydrolyse</b>
- bactéries anaérobies strictes, groupes des archae. - type méthano-bactériales méthanococcales, Méthanomicrobiales .	- bactéries anaérobies strictes . - type syntrobacter, syntrophys ou syntro - phomonas.	- bactéries anaérobies strictes et facultatives - type clostridium principalement.	- bactéries anaérobies strictes et facultatives - Type Escherichi, streptococcus, clostridium.

**I.4.4. Rapport C / N :**

Le carbone et l'azote sont des éléments essentiels à la nutrition des microorganismes, ainsi que le phosphore et le soufre. Le carbone est primordial pour les bactéries en tant que source d'énergie et l'azote autant qu'élément de structure cellulaire. Les rapports C/N supérieurs à 23/1 ont été identifiés comme inadaptés pour une digestion optimale ; et des rapports inférieurs à 10/1 se sont révélés inhibiteurs selon des études portant sur la digestion anaérobie thermophile des déchets de volailles et d'autres substrats celluloses [19]. Pour un fonctionnement optimum d'un réacteur à chargement continu, les bactéries ont besoin d'un rapport C/N convenable pour leur métabolisme le rapport C/N idéal est de 30 [46] et le meilleur rapport doit être comprise entre le 10 – 30 pour une bonne digestion anaérobie [47].

En effet les bactéries ont besoin de trente fois plus de carbone que d'azote. Si ce rapport n'est pas maintenu on observe un défaut de croissance des bactéries ou bien une accumulation des nutriments est donc un changement des caractéristiques biochimiques du milieu. Un rapport C/N adéquat est donc important pour avoir un bon fonctionnement de la digestion anaérobie [46].

**I.4.5. Brassage:**

Le brassage du digesteur n'est pas essentiel pour que la digestion anaérobie se déroule. Cependant, il permet l'obtention d'un milieu homogène, c'est un moyen de favoriser les transferts thermiques, ioniques et métaboliques. Il permet aussi une augmentation des contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée et évite les courts circuits dans le réacteur, un court circuit correspond à la sortie prématurée d'une partie du substrat de la cuve car celle-ci ne suit pas le parcours habituel, l'effluent ne subit pas donc la méthanisation totale [46]. Le brassage se fait à l'aide d'un agitateur mécanique, ou d'un système hydraulique par la recirculation de la boue ou réinjection du gaz produit. [48]

**I.4.6. Pression partielle en hydrogène :**

L'hydrolyse est une étape clé dans le processus de la digestion anaérobie [51], c'est un substrat indispensable et énergétique pour les bactéries méthanogènes. Il est produit lors de l'acétogénèse à partir des

produits de l'acidogénèse (AGV), cette faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogènes et hydrogénophiles qui consomment  $H_2$  au fur et à mesure de sa production [48].

#### I.4.7.Humidité :

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable surtout à la multiplication des microorganismes, d'après Marache[46], une humidité minimale de 60 à 70% est nécessaire à la méthanisation. De sa part Laskriet[53] a pu montrer que le taux de dilution est un facteur favorisant ; une augmentation du taux de dilution mène à une augmentation importante du volume du biogaz produit.

#### I.4.8.Temps de rétention hydraulique (TRH) :

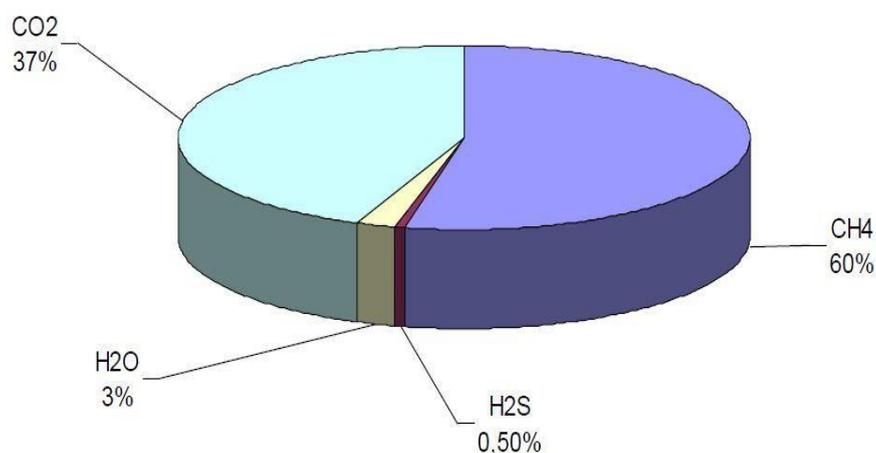
C'est le temps de séjour moyen du substrat dans le réacteur. C'est-à-dire le rapport du volume utile du fermenteur sur le débit volumique du substrat. Ce paramètre opératoire a un impact direct sur les différentes étapes réactionnelles de la digestion anaérobie. En effet, un temps de séjour inférieur à 5 jours est insuffisant pour avoir une digestion stable en raison du lessivage des microorganismes méthanogènes. [43] [46] [54] .

### I.5.Biogaz :

#### I.5.1.Définition et composition

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en absence d'oxygène (conditions anaérobies). Cette fermentation appelée aussi "méthanisation" ou encore "digestion anaérobie" peut se produire naturellement ou être provoquée.

Le biogaz est un mélange composé principalement de méthane ( $CH_4$ ) et de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et, en nettement plus faibles proportions, d'azote, d'oxygène et d'eau ; on retrouve également de nombreux composés trace (organiques et inorganiques) tels que le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), les thiols (= mercaptans) et tout un panel de Composés Organiques Volatils (COV) notamment dans les biogaz d'Installations de Stockage de Déchets (ISD).[5]



**Figure 8:** Composition du biogaz des déchets des bovins (en % volumique)[53].

L'énergie du biogaz provient uniquement du méthane : le biogaz est ainsi la forme renouvelable de l'énergie fossile qu'est le gaz naturel. Ce dernier contient essentiellement du méthane mais aussi du butane, du propane et d'autres éléments.

Comme il est indiqué dans les facteurs influençant la méthanisation, il y a ces trois intervalles de température qui assurent la production de biogaz [56] et la quantité de biogaz produit change en fonction de ces températures :

- de 10 à 25°C : psychrophile [57].
- de 25 à 45°C : mésophile [58].
- de 45 à 65°C : thermophile [59].

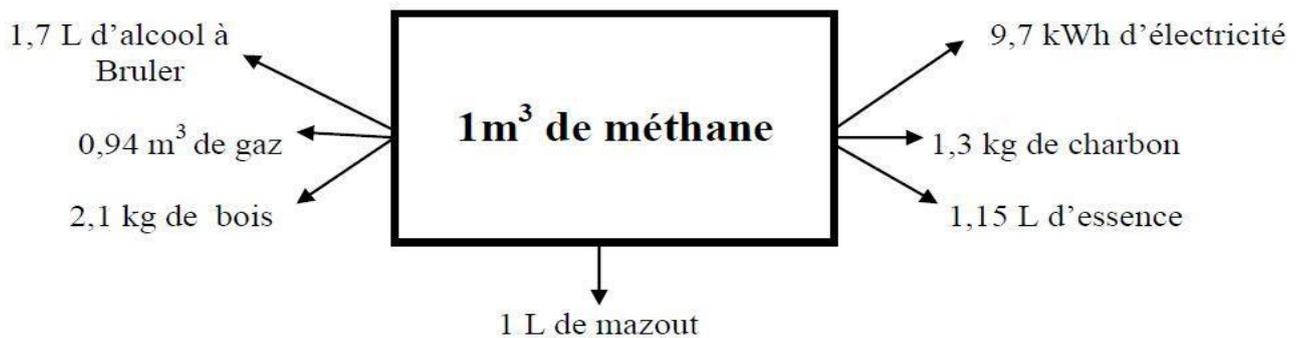
Le tableau 5 suivants montre la composition caractéristique du biogaz qui varie suivant son origine (composition des déchets organiques, modes de production, etc.) [55] :

**Tableau 5 :** Composition caractéristique des biogaz en fonction des substrats et des procédés de production OM / STEP / ISDND / [55] .

	Lieux de production et principaux substrats	ISDND d'OM (environ 80 % )		ISDND d'OM Et déchet industriels (50 % -50 % )	OM gérées en digesteur	Boues de STEP	Lisiers de bovins ou d'ovins	Distiller
		Procédé mis en œuvre	Production naturelle sans aspiration	Production forcée avec aspiration				
Composants majoritaires (% vol)	CH <sub>4</sub>	50-58	30-35	25-45	50-60	60-75	60-75	68
	CO <sub>2</sub>	25-34	22-33	14-29	38-34	33-19	33-19	26
	N <sub>2</sub>	18-2	26-6	49-17	5-0	1-0	1-0	-
	O <sub>2</sub>	1-0	8-2	8-5	1-0	>0.5	>0.5	-
	H <sub>2</sub> O (à 30 ° C)	4	4	4	6	6	6	6
	Total % vol	100	100	100	100	100	100	100
Composants mineurs (mg.Nm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> S	20-50	5-20	100-900	100-900	1000-4000	300-10000	400
	NH <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	50-100	-
	Aromatique	2	1	0-200	0-200	-	-	-
	Organochlorés Organofluorés	0-200	0-100	100-800	100-800	-	-	-

**I.5.2. Valeur énergétique :**

Le méthane brûlé avec une flamme bleue, lorsque sa combustion est complète. Celle-ci s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. Dans ces conditions,  $1 \text{ m}^3$  de méthane peut atteindre en brûlant une température de  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  et dégage une quantité de chaleur de 8500 à 9500 kcal, à titre indicatif,  $1 \text{ m}^3$  de biogaz, contenant 70% de méthane et de 30% de gaz carbonique, libère par combustion environ 6000 Kcal [4].



**Figure 9 :** Equivalences énergétiques de  $1 \text{ m}^3$  de méthane. [43]

La variabilité de la quantité du gaz suivant le substrat fermenté est important : De 55% à 75% de  $\text{CH}_4$ . Sur une installation donnée, en l'absence d'accident de fermentation, la composition du biogaz est stable. [60]

**I.5.3. Purification du biogaz :**

La purification du biogaz nécessite un traitement qui consiste à éliminer les composés toxiques et corrosifs ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Ensuite Le biogaz produit passer a l'étaps de purification. Cette dernière permet :

- D'améliorer le pouvoir calorifique .
- De diminuer le volume de stockage .
- De supprimer l'effet corrosif et les mauvaises odeurs dus à la présence de  $\text{H}_2\text{S}$ .

Le procédé le plus efficace pour éliminer l' $\text{H}_2\text{S}$  est le passage du biogaz dans un filtre composé de limailles de fer (oxyde de fer). Le filtre est placé sur la conduite de gaz. Pour l'élimination de  $\text{CO}_2$ , il faut faire barboter le biogaz dans une solution de chaux qui fixera le gaz carbonique. [43]

Pour éliminer l'eau on applique des techniques de condensations pour piéger les gouttelettes ou de séchage la vapeur d'eau (refroidissement et piégeage de l'eau, adsorption sur des produits de type silica-gel, séchage au glycol ...). [61] . Le tableau 6 suivants regroupe les différents composés et leurs techniques d'élimination .

**Tableau 6:** les différents composés et leurs techniques d'élimination. [43]

Voie de valorisation	Composés à enlever
thermique	Eau, sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S, éventuellement selon la teneur)
Electricité / cogénération	Eau, sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S), organohalogénés
carburant	Eau, sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S), organohalogénés, C <sub>2</sub> O
Réseau de gaz	Eau, sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S), organohalogénés, C <sub>2</sub> O

### I.6. Les Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie :

#### Les avantages de la digestion anaérobie sont :

- Une réduction de la matière sèche des boues de l'ordre de 50% [62].
- Une production d'un Biogaz valorisable sous forme d'énergie (chauffage, cogénération d'électricité)[63].
- Une réduction du nombre de micro-organismes pathogènes [64].
- Un intérêt agronomique, lié à une concentration importante en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et en phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) due à la lyse de la matière organique [65].
- Une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en Oxygène [63].
- la possibilité de traiter des charges organiques élevées : de 2 à plus de 80 kg de DCO par mètre cube de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98%[63].

#### Les inconvénients :

- Une forte sensibilité aux variations de charges et aux composés toxiques [66] [67].
- Une dégradation plus lente que pour les procédés aérobies [68] .
- Des coûts d'investissement importants [63].
- Du fait de la faible vitesse de croissance bactérienne, la cinétique d'épuration est lente et les périodes de démarrage des réacteurs relativement longues[63].
- les populations microbiennes sont sensibles aux perturbations, en particulier à l'oxygène et aux métaux lourds [69]où encore aux surcharges organiques et le procédé se révèle souvent instable [63].
- le traitement par digestion anaérobie est souvent insuffisant pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel : un post-traitement aérobie de finition est nécessaire pour achever l'élimination du carbone et éventuellement de l'azote et du phosphore .[63]



**Chapitre II :**  
**Matériel et Méthode**



## CHAPITRE II

## Matériels et méthodes :

Dans ce chapitre on va présenter l'ensemble des dispositifs expérimentaux et tous les méthodes d'analyses utilisées, ainsi que l'origine du substrat utilisé dans cette étude .

## II.1.Origine et caractérisation du substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans cette étude pour la production de biogaz est constitué par deux éléments essentiels dans les constituants des palmiers dattiers qui sont les folioles séchées et les pétioles provenant de trois différents jardins ( Tadmay , Ba Omer , Jnane ELouza ) de Kasser Bani Tameur , la différence entre ces trois jardins est principalement représentée dans la longueur et la largeur de chaque série des jardins et dans ces positions .



1\_Foliole



2\_pétiole

Photo 01 : Substrat utilisé.

## II.2.Prétraitement du substrat :

Le prétraitement du substrat est fait à deux étapes :

**Le Nettoyage :** Après la récolte des dattes on fait une préparation du palmier pour la prochaine saison par la cumulation des différents éléments de palmier ( foliole , pétiole , spathe , life , haup floral ...etc ) . Après avoir séparé ces éléments séparément on trouve des constituants indésirables placés sur les parois des pétioles et des folioles , donc on fait un nettoyage par l'eau pour éliminer ces constituants .



Photo 02 : Pétiole avant et après le nettoyage.

**Le broyage :** le substrat ( foliole et petiole ) sera introduite dans un broiyeur pour minimizé la taille de ces particule et pour faciliter l'utilisation dans les digesteur et la degradation dans le processeus de la méthanisation .



**Photo 03:** Substrat utilisé après le broyage .

### II.3.Description du digesteur et dispositif utilisé :

Les essais ont été réalisés dans un réacteur de type discontinu. Ce réacteur une bouteille du verre de modèle de laboratoire. Le réacteur est muni de deux trous, le premier pour le prélèvement des échantillons liquides à l'aide d'une seringue, et l'autre pour assurer l'échappement du gaz pour la mesure du volume de biogaz produit. [43]

La dégradation de substrat et la production de bio gaz sera assuré par un iniculume , ce dernier est la boue de station de lagunage de la ville d'Adrar.

Le volume total du réacteur est de 500 ml. Nous avons laissé un volume de 200 ml au dessus du niveau du liquide pour protéger la sortie de gaz, et maintenir l'anaérobiose. Le digesteur utilisé est alimenté par 308 ml d'iniculume pour un 5 g de MO et en laissé a dégazer a un temperature 35.0°c .



**Photo 04:** Digesteur utilisé remplie par l'iniculume et substrat .

#### II.4. Conditions opératoires :

Le réacteur est maintenu en condition mésophile ( $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) dans un bain marie chauffé et régulé par un thermostat et agité manuellement , le pH du milieu est maintenu à 7 .



**Photo 05:** Les réacteurs dans un bain-marie chauffé et régulé à 37°C.

#### II.5. Méthodes d'analyses :

##### II.5.1. Détermination de taux la matière sèche (MS):

**a) Matériels utilisés :**

- Balance.
- Capsule ;
- Dessiccateur ;
- Etuve réglée à 105°C ;

**b) Méthode :**

La matière sèche est déterminée par dessiccation dans une étuve maintenue à 105 °C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon à analyser devient constant [70]. La différence du poids correspond à la perte d'humidité et le résidu représente la teneur en matière sèche de l'échantillon[43] .

Pour déterminer la matière sèche, une prise d'échantillon de masse quelconque, soit (M1), est versée dans une capsule de masse connue soit (M) préalablement nettoyée et séchée, ensuite l'ensemble est placé dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La capsule est pesée après refroidissement dans un dessiccateur .



**Photo 06:** L'étuve utiliser et réglée à 105 °. **Photo 07 :** Photo de dessiccateur utiliser pour la refroidissement .



**Photo 08:** substrat après séchage .

La matière sèche s'obtient selon la relation suivante :

$$MS \% = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \dots \dots \dots (I)$$

**Avec :**

**MS % :** la teneur en matière sèche (MS) .

**Mf :** masse finale de substrat après séchage .

**Mi :** masse initiale de substrat avant le séchage .

**II.5.2.Détermination de la teneur en matière organique (MO) :**

**a) Matériels utilisés :**

- Four à moufle .
- capsule .
- Balance .
- dessiccateur.

**b) Méthode :**

Lorsque l'échantillon, préalablement séché, est soumis à une incinération à 550°C, la matière organique se consume et la matière résiduelle constitue la matière minérale [70] .

Pour déterminer la teneur en matière organique (MO), une masse quelconque de l'échantillon après dessiccation, soit (M1), est introduite dans une capsule préalablement nettoyée et séchée ayant une masse (M), l'ensemble est placé dans un four à moufle pour une calcination à 550 °C pendant 5 heures. Après refroidissement la capsule contenant la matière minérale est pesée encore une fois. La masse de la matière organique est obtenue par différence entre la masse de matière sèche et la masse de matière minérale.



**Photo 09 :** Four à moufle utiliser.

**Photo 10 :** substrat après calcination La teneur en matière

organique s'obtient selon la relation suivante :

$$MO \% = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \dots \dots \dots (II)$$

Avec :

**MO%** : la teneur en matière Organique (MO) .

**Mi** : masse initiale de substrat après séchage .

**Mf** : masse finale de substrat après calcination .

**II.5.3. Paramètres suivis :**

Le contrôle des digesteurs est nécessaire pour assurer la réussite de l'opération. A cause de la complexité du processus de la digestion anaérobie due à la sensibilité des groupes micro-organismes à plusieurs facteurs, il est important de pouvoir détecter le déséquilibre de processus au début et donc l'action peut être prise à temps pour empêcher l'échec du processus. Pour cela pendant la durée de la digestion, nous avons suivi deux groupes de paramètres, qui sont les suivants[43] :

**1- Paramètres du fonctionnement :**

Dans cette étude on a suivi les paramètres qui nous renseignent sur le fonctionnement du réacteur tels que le pH, et le volume du biogaz.

**2- Paramètres d'épuration :**

Les deux paramètres les plus répandus qui peuvent nous donner une idée sur les matières polluantes, et donc donner une idée sur le taux d'épuration du substrat étudié. Ces deux paramètres sont ;

- la demande chimique en oxygène (DCO);
- les acid gras volatile (AGV ).

La demande chimique en oxygène est retenue mondialement comme critère d'évaluation et apparait dans toutes les études concernant les rejets et les déchets [71].

**II.5.3.1. pH :**

Le pH est un facteur facile à mesurer, le changement du pH peut être un indicateur, et la cause du déséquilibre du processus, puisque les micro-organismes peuvent fonctionner seulement dans une plage spécifique de pH.

**a) Matériel :**

- pH-mètre (BASIC 20) .
- Becher.



**Photo 11 :** méseur de pH .

**II. 5.3.2. Volume de biogaz produit :**

La production du gaz est le but principal de la digestion anaérobie. Durant le déroulement du processus de digestion anaérobie le volume du biogaz produit est mesuré de façon régulière.

**a) Matériel :**

- Éprouvette graduée ;
- Bécher.



**Photo 12 :** Dispositif de mesure du volume du biogaz produit[43] .

**b) Méthode :**

Les productions gazeuses sont suivies avec des fréquences journalières, le volume de biogaz est mesuré à l'aide d'un système hydraulique (déplacement du liquide), ou le gaz produit en sortie du digesteur, passe dans une éprouvette graduée plongée dans un liquide, ce qui va déplacer le niveau du liquide contenu dans l'éprouvette et indique ainsi le volume du gaz produit.

**II.5.3.3.Détermination de la DCO :**

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement lors de la dégradation chimique d'une quantité de matière organique [72]. cette mesure traduit leurs teneurs et le degré de la pollution. La DCO est l'unité de mesure de pollution carbonée la plus utilisée en modélisation des procédés biologiques car elle permet de faire des bilans de matière regroupant des produits organiques biodégradables et non biodégradables[43] .

**a) Matériels utilisés :**

- Centrifugeuse .
- Pipette.
- Eprouvette.
- Bécher.
- Tubes.
- Burette.
- Thermo-réacteur.

**b) Méthode :**

Ce dosage est réalisé par l'emploi de la méthode au bichromate de potassium (AFNOR T90 -101). Cette méthode analytique est adaptée pour le dosage de la DCO dans la gamme de mesure va de 30 mg/L à 700 mg/L pour des échantillons non dilués. Les valeurs de la DCO de notre échantillon sont plus élevées que ces valeurs, pour cela toutes les mesures de la DCO sont réalisées sur des échantillons dilués[43] .



**Photo 13:** Prélèvement de l'échantillon .



**Photo 14:** Les tube après la centrification..



**Photo 15:** L'echantillon après la dulution

Les matières organiques contenues dans l'échantillon sont oxydées, en milieu acide ( $H_2SO_4$ ), en présence de sulfate d'argent ( $Ag_2SO_4$ ) comme catalyseur, et de sulfate de mercure ( $HgSO_4$ ) pour éviter l'interférence des chlorures, par le bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ), introduit en excès, sous le chauffage à  $150^\circ C$ , pendant 2 heures dans un thermoréacteur.



**Photo 16:** Préparation des tube prés a l'emploi .



**Photo 17:** Thermo réacteur .

Après refroidissement, la DCO est déterminée par dosage en retour : l'excès de bichromate de potassium est dosé à l'aide d'une solution de sulfate fer ammonium [sel de Mohr  $Fe (NH_4)_2 (SO_4) H_2O$ ],

après la détermination de leur titre, en présence de quelques gouttes de ferroïne comme indicateur coloré. L'oxydation de la matière produit des ions donnant une coloration rouge violacé.

La DCO est exprimé par la relation suivante :

$$DCO = \frac{(VT - VE) \times 8000 \times T \times d}{Ve} \quad (\text{en mg O}_2 / \text{L}) \dots \dots \dots \text{(III)}$$

**Avec :**

**VT :** volume de sel de Mohr pour le témoin .

**VE :** volume de sel de Mohr pour l'échantillon .

**T :** titre de sel de Mohr .

**d :** facteur de dilution .

**Ve :** volume d'échantillon prélevés après la dilution .

**II.5.3.4. Détermination de l'AGV :**

La concentration en AGV (acides gras volatils) est un paramètre important (indicateur sensible) qui répond rapidement à une perturbation de l'état biologique de la digestion.

Les AGV sont des produits apparaissant lors d'une des étapes de la digestion. Ils sont par la suite transformés en méthane. Une augmentation de la concentration en AGV risque d'inhiber la méthanisation[73] .

**a) Matériels utilisés**

- pH mètre .
- Plaque chauffante .
- Burette de 10 ml.
- Bécher.

**b) Méthode :**

On pose l'échantillon après la centrifugation dans un bécher et on mesure la valeur de PH initial , ensuite on ajoute l'acide sulfurique ( H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N ) avec une agitation manuelle jusqu'à on obtient la valeur de PH = 4.00 et on note le volume V<sub>1</sub> , on continue l'ajout l'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> jusqu'à ph=3.50 , après on fait bouillir le liquide pendant 3 minutes à 100 C°, de manière à dégazer le dioxyde de carbone. La solution est ensuite refroidie à la température ambiante.

Après le refroidissement et à l'aide d'une burette, on ajoute de la soude (NaOH) 0,1 N jusqu'à atteindre une valeur de pH = 4 et on marque le volume obtenu, soit V<sub>2</sub>. On continue d'ajouter le soude jusqu'à atteindre une valeur de pH = 7, on marque le volume, soit V<sub>3</sub>.

L'acidité volatile est exprimé par la relation suivante :

$$AGV = \frac{(V3 - V2) \times 0.1 \times 1000}{25} \quad (\text{en meq.l}^{-1}) \dots \dots \dots \text{(IV)}$$

$$= (V3 - V2) \times 4 \times 0.06 \quad (\text{en g.l}^{-1} \text{ d'acide acétique}) \dots \dots \dots \text{(V)}$$

**II.5.3.5. Détermination de TAC :**

Le titre alcalimétrique complet permet de connaître les doses de carbonates, d'hydroxydes et d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalino-terreux, responsables du pouvoir tampon du fermenteur vis-à-vis des acides organiques et acides gras volatils.

Cette alcalinité permet au pH de rester aux alentours de la neutralité malgré la présence d'acides.

Le calcul de la TAC se fait à partir de volume  $V_1$  noté précédemment dans la mesure de l'AGV par la relation suivante :

$$\text{TAC} = \frac{V_1 \times 0.1 \times 1000}{25} = v_1 \times 4 \text{ (en meq.L}^{-1}\text{) } \dots\dots\dots \text{(VI)}$$

$$= v_1 \times 4 \times 0.05 \text{ ( en g/l de CaCo}_3 \text{ ) } \dots\dots\dots \text{(VII)}$$

Le rapport AGV/TAC inférieur à 0.5 [43] est utilisé comme un indice de bon déroulement de la fermentation méthanique.

**II.5.4. Inflammabilité du biogaz :**

Le test d'inflammabilité de biogaz, donne une idée sur le rendement énergétique de l'échantillon utilisé. Chaque fois, après la mesure de volume de biogaz, on passe à un test d'inflammabilité de ce dernier. Le biogaz est retiré à l'aide d'une seringue et subi à une flamme discontinue d'un briquet.



**Photo 18:** Teste d'inflammabilité du biogaz produit.



**Chapitre III :**  
**Résultats et Discussions**



**Résultats et Discussion**

Ce chapitre représente la discussion des résultats obtenus lors de la réalisation de présent mémoire qui concernent de tous les étape suivis. Le travail commence par la préparation des échantillons qui regroupe une enquête sur terrain à propos des substrats utilisé. La deuxième étape concerne un suivi des paramètres de contrôle de processus de digestion anaérobie.

**III.Caractérisation du substrat :****III.1.Enquête sur terrain :**

L'enquête sur terrain touche 9 palmiers dattiers au niveau de trois jardins dans la palmerais de Beni Tameur commune de Timmi wilaya d'Adrar. L'échantillonnage est effectué sur place après la récolte des dattes et le nettoyage des palmiers. Les pesés sont effectués au niveau du laboratoire de l'unité de recherche en énergie renouvelable au milieu saharien de la wilaya d'Adrar.

**a.Description des différents déchets lignocellulosiques du palmier dattier de la variété H'mira :**

Le nettoyage des palmiers concerne essentiellement les résidus inutiles (sèches) représenté par les pétioles, les palmes sèche, les spathes, les régimes et les lifs, Ces éléments sont riches en matière lignocellulosique avec d'autres constituant comme les sels minéraux.

**Les différents résidus du palmiers dattiers :**

**Palmes :** ou (Djerid) composé essentiellement par des folioles et des épines disposées de part et d'autre d'un axe médian appelé rachi[74].



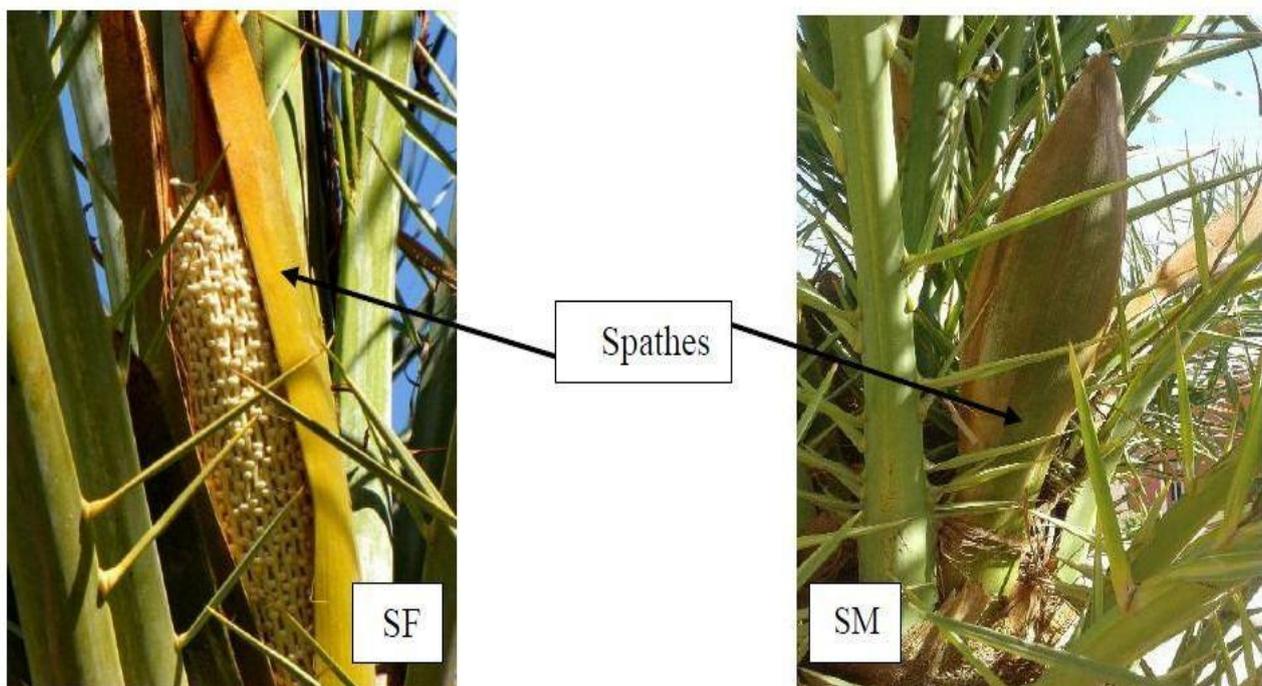
**Photo 19:** palme sèche.

**Les pétioles :** ou (Kornaf) figure 29 sont les bases pétiolaires des palmes qui restent collées au stipe après l'arrachement des palmes sèches. Ils se dessèchent à leur extrémité et assurent une protection du tronc. Leur présence permet d'utiliser comme un escalier sur le palmier [74].



**Photo 20:** les pétioles.

**Spathes :** ou (Kilouane) ont une forme d'épis protégés par une bractée ligneuse close et fusiforme. Elles sont de couleur vert-jaunâtre et sont formées à partir de bourgeons développés à l'aisselle des palmes[75].



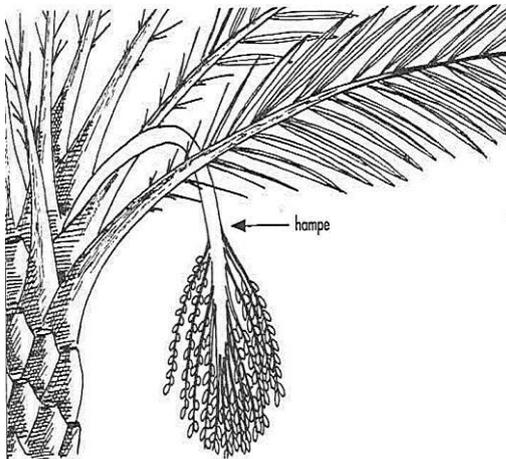
**Photo 21:** spathe male et female[74].

**Life:** ou (Fdame) les palmiers dattiers ont des lifs autour du tronc recouverts les pétioles[69][70].



**Photo 22:** les lifs et les pétioles du palmier dattier[74].

**Régime :** ou (Ziouane) est un Axe florifère allongée terminé par une fleur ou un groupe de fleurs et ne possédant pas de feuilles[76], Ces fleurs deviennent des dattes à la fin du cycle de croissance de palmier dattier. Après la récolte des dattes il reste que le régime.



**Figure 10:** Schéma de la hampe florale . **Photo 23:** Régime de dattier [74].

#### **b. Nombre moyen de chaque déchet par palmier :**

Après le processus de nettoyage des palmiers dattiers, les déchets de chaque palmier ont été isolés séparément, après cela chaque composant des déchets a été placé séparément, ensuite le processus de calcul pour chaque élément a été achevé. Le tableau numéro 7 indique le nombre de chaque élément au niveau de chaque palmier. Les échantillons comprenaient neuf palmiers provenant de trois jardins.

**Tableau 7:** Nombre moyen de chaque déchet par palmier.

Jardaine	Palmier	N° de palme	N° de pétiole	Régime	Spathe	Lif
01	01	06	33	08	08	04
	02	13	21	07	07	03
	03	12	25	09	09	03
02	01	07	19	07	07	03
	02	15	08	07	07	02
	03	11	07	05	05	02
03	01	16	15	08	08	03
	02	23	17	11	11	04
	03	13	10	06	06	02
	Moyenne	12,89	15,25	7,56	7,56	2,89

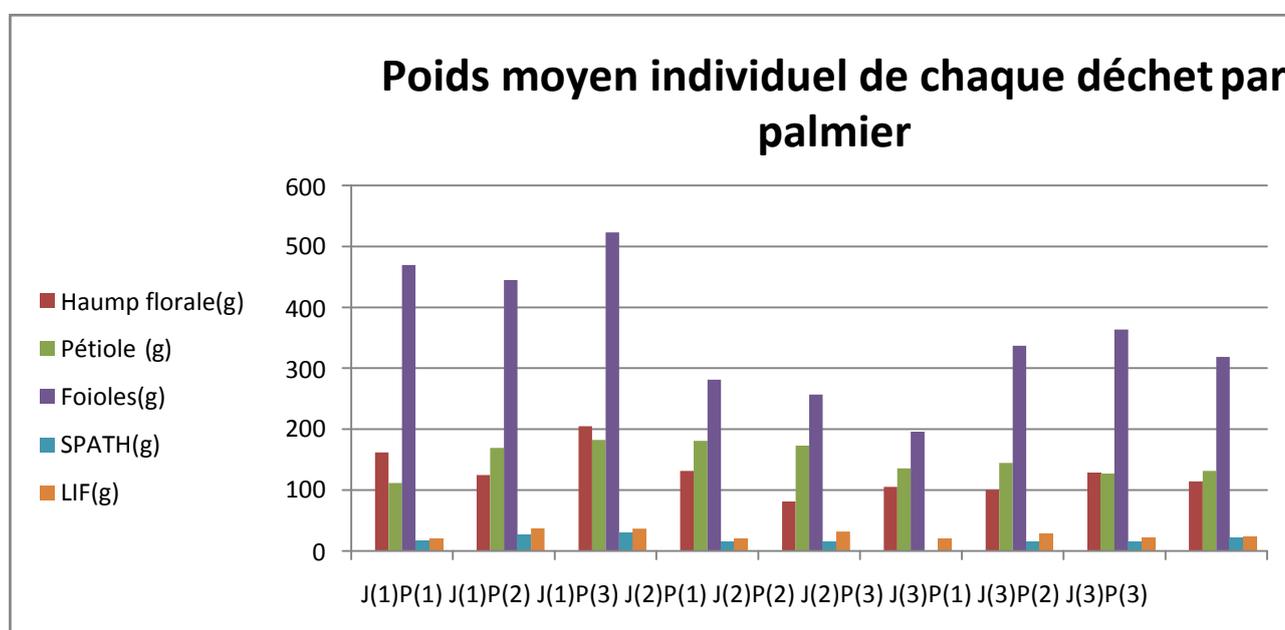
Le tableau N°07 représente le nombre moyenne de chaque déche par palmier .il est apparu que le nombre moyen des pétioles prendre la grande partie des déchets retiré de palmier dattier environ 15,25 pétiole de chaque palmier. Ensuit, les palmes sèches en deuxième position avec une moyenne de 12,89 palmes générées par palmier. Finalement, les spathe et les régimes par un nombre moyen de 7,56 élément de chaque palmier et la dernière position est enregistré par les lifs avec une moyenne de 2,89 lifs seulement générés par palmier.

### **c. Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier :**

Le poids des déchets de palmiers dattiers a été mesuré à l'aide d'une balance au niveau du laboratoire de l'URERMS d'Adrar. Le poids moyen de cinq unités de chaque déchet est enregistré. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau n° 08 :

**Tableau 8** : Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier .

Jardian	Palmier	Pétiole (g)	Palmes(g)	SPATH(g)	Régime(g)	LIF(g)
1	1	111,82	469,54	16,4	161,7	20,34
	2	169,06	444,72	26,42	124,68	37,02
	3	182,48	523,04	29,2	204,82	36,52
2	1	181	281,28	15,4	131,78	19,7
	2	172,82	256,96	15,06	81,06	32,08
	3	135,76	196,16	/	105,44	19,72
3	1	144,82	336,7	15,88	100,8	28,56
	2	126,7	363,92	15,06	128,22	22,78
	3	131,66	318,72	21,86	114,3	23,08
	moyenne	150,68	354,56	17,25	128,08	26,64

**Figure 11** : les Poids moyen individuel de chaque déchet par palmier.

**Discussion** : la figure 11 représente le poids moyen individuel de chaque déchet par palmier dans les trois jardines. D'après la figure ainsi le tableau n° 08, le poids totale moyen des déchets de chaque palmier est estimé de 26 g jusqu'à 354 g. Nous remarquons que les palme et les pétioles représente le poids le plus important de ces déchets avec plus de 350 g pour les palmes et plus de 150 pour les pétioles.

**d-Poids moyen globale de chaque déchet par palmier :**

C'est le poids moyen de chaque élément des déchets du palmier dattier multiplié par le nombre total du même élément. Les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau n° 9 :

**Tableus 9 :**Poids moyen globale de chaque déchet par palmier .

Jardian	Palmier	Pétiole (g)	Palmes(g)	SPATH(g)	Régime	LIF(g)	somme
1	1	3690,06	2817,24	131,2	1293,6	81,36	8013,46
	2	3550,26	5781,36	184,94	872,76	111,06	10500,38
	3	4562	6276,48	262,8	1843,38	109,56	13054,22
2	1	3439	1968,96	107,8	922,46	59,1	6497,32
	2	1382,56	3854,4	105,42	567,42	64,16	5973,96
	3	950,32	2157,76	0	527,2	39,44	3674,72
3	1	2172,3	5387,2	127,04	806,4	85,68	8578,62
	2	2153,9	8370,16	165,66	1410,42	91,12	12191,26
	3	1316,6	4142,58	131,16	685,8	46,16	6322,3
	moyenne	2579,67	4528,46	135,11	992,16	76,40	8311,80
	Pourcentage	31,04 %	54,48 %	1,63 %	11,94 %	0,91 %	100 %

**Discussion :** le tableau 9 représente les moyens globaux de chaque déchet par palmier. Nous remarquons que les pétioles représentent le plus grand poids qui dépasse les 4,5 kg suivis par les palmes avec un poids moyen de 2,51 kg. Ces deux déchets représentent 85.52 % du poids totale des déchets par palmier qui favorise leur choix dans un contexte de valorisation biotechnologique pour la production de bioénergie représenté par le biogaz. Le reste de déchet (spaths, régimes et lifs) ne représente que 14.48 %.

**III.2.Analyse physico-chimique des pétioles et des folioles :****Taux de la matière sèche et de la matière organique :**

Le taux de la matière sèche de substrat (les foliole et les pétiole) est représenté dans le tableau suivants :

**Tableau 10 :** Taux de la MS et le MO avant et après la digestion .

Substrat	MS%	MO%
Foliole avant digestion	94,19%	85,53%
Foliole après digestion	7,17 %	60,00 %
Pétiole avant digestion	92,07 %	90,88 %
Pétiole après digestion	6,18 %	55,12%

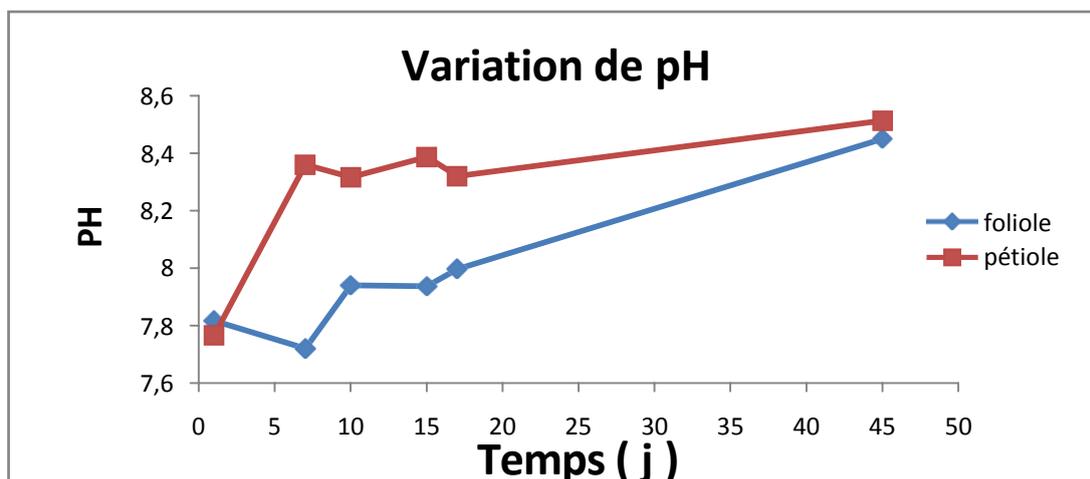
**Discussion :**

Les résultats obtenus démontrent que les substrats étudiés sont riches en matière organique avec 85,53% pour les folioles et 90,88 % pour les pétioles. Ces résultats sont en forte concordance avec les résultats obtenus par Djaafri et al 2020 qui étudient les folioles sèches de palmier dattier Algérien (*Phoenix dactylifera* L.) Hmira, [1]. Aussi, les résultats obtenus par Bouziane et al 2017 qui étudient la valorisation de la matière lignocellulosique des déchets de palmier dattier démontrent un taux de matière organique de 91,26 % pour les pétioles et 86,56 % pour les palmes séchés [77]. Le substrat étudié est caractérisé par un faible taux d'humidité qui ne dépasse pas les 6% pour les folioles et les 8% pour les pétioles.

Après la digestion anaérobie, une diminution remarquable de la matière organique jusqu'à 60% pour les folioles et 55,12 % pour les pétioles. Cette diminution est expliquée par la dégradation de la matière organique du substrat. Cela est traduit par la production du biogaz au cours de la digestion anaérobie. Les résultats obtenus par Soulimani qui étudient les déchets des dattes démontrent une grande diminution de MO de 93,83 % avant la DA jusqu'à 51,07 % dans la fin de la DA [78], ce qui indique que nos résultats sont proches de la littérature.

**III.3.Évolution des paramètres de fonctionnement :****III.1.Évolution du pH :**

Le pH est un paramètre très important pour un processus de la digestion anaérobie car les organismes méthanogènes sont très sensibles à la variation de pH. Les valeurs optimales de ce paramètre sont estimées de 6,5 à 8,5 [45]. Cet intervalle donne un rendement maximum en biogaz.

**Figure 12 :** Evolution de pH en fonction du temps durant la digestion anaérobie des folioles et pétioles.

Le suivi du processus de digestion pendant 45 jours démontre un changement de pH comme il est apparu dans la figure N° 12. Une diminution du pH lors des premiers sept jours pour les folioles de 7,8 à 7,7 est expliqué par la dégradation de matière organique et la formation des acide gras volatiles. Les mêmes constatations ont été enregistré par Kalloumet al[79]. Ensuite, une augmentation continue du pH jusqu'à une valeur de 8,4 à la fin de digestion. Cette augmentation est expliquée par la consommation des acides formées en première phase par les bactéries acétogènes ainsi que par la transformation de ces acides à un autre produit qui est le biogaz [79]. Concernant les pétioles, les valeurs du pH commencent par une augmentation remarquable dès le début de digestion de 7,77 jusqu'à 8,4. Cette augmentation est probablement dû à la composition des pétioles qui sont peut-être riche en matériaux azoté [80]. Ensuite une stabilisation des valeurs du pH entre 8,4 et 8,5 jusqu'à la faine de digestion.

### III.3.2.Évolution du la DCO:

La demande chimique en oxygène est un paramètre qui donner une idée générale sur l'action de micro-organisme dans le milieu réactionnel et leur demande en oxygène pour la dégradation de la matière organique.

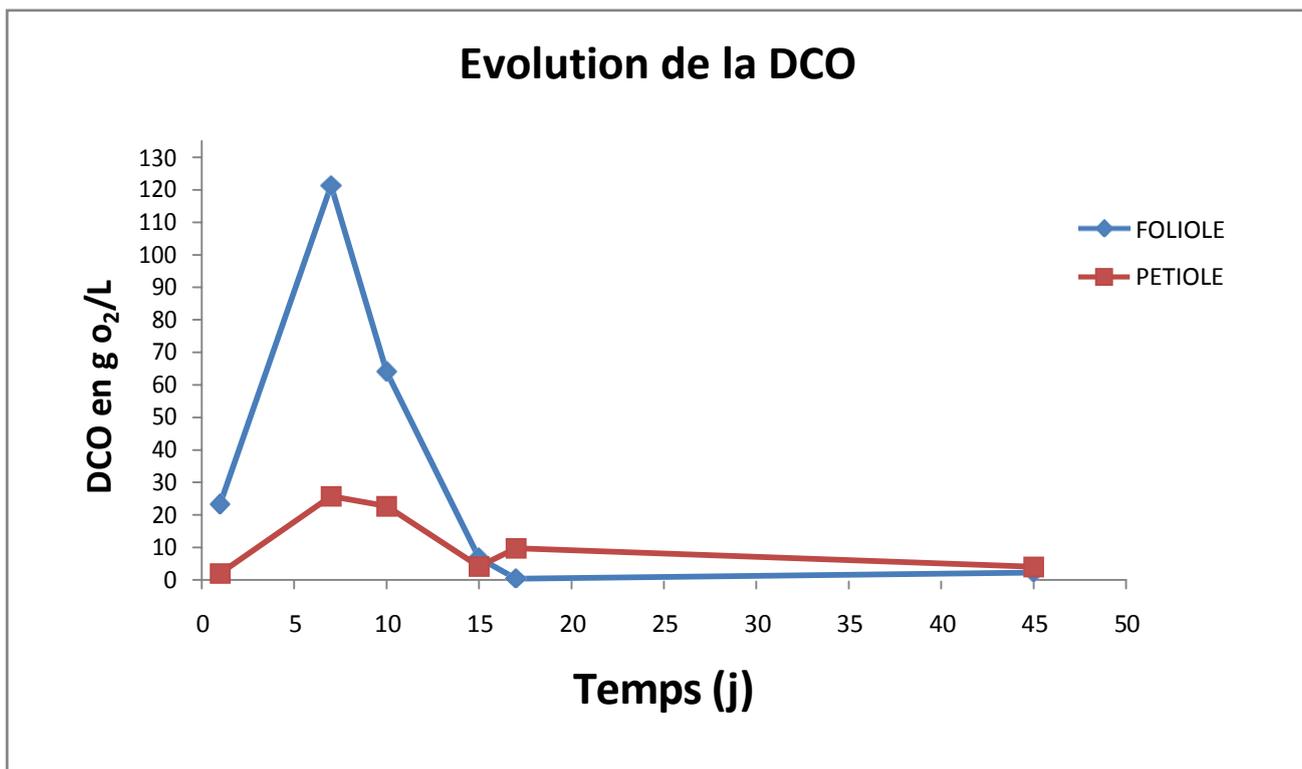


Figure 13 :Evolution de la DCO en fonction du temps .

Selon le graphe de la figure 13, à partir du premier jour de la digestion anaérobie jusqu'au 7<sup>ème</sup> jour, une augmentation remarquable de la DCO est enregistré pour les digesteurs contenant les folioles. La DCO commence par une valeur de 23,333 g O<sub>2</sub> / L jusqu'à son valeur maximale de 121,333 g O<sub>2</sub> / L. Cette augmentation est expliquée par la dégradation rapide de la matière organique facilement biodégradable. Les mêmes résultats trouvés par Kalloum [81]. Ensuite, les valeurs de la DCO commencent à ce déminuées jusqu'à la fine de la digestion pour ce stabilisées sur une valeur de 4g O<sub>2</sub> / L.

Concernant les pétioles, une faible augmentation de la DCO est enregistré dès le début de la digestion. La DCO commence de  $2\text{g O}_2 / \text{L}$  au 1<sup>er</sup> jour jusqu'à  $25,7\text{g O}_2 / \text{L}$  aux 7<sup>ème</sup> jour. Les faible valeurs de la DCO sont expliquées par la faible biodégradabilité du substrat. Par la suit une diminution continue de la DCO est enregistré jusqu'à la fin de digestion sur une valeur de  $2,3\text{g O}_2 / \text{L}$ . Les mêmes constatations ont été rapportées par Takdastan et *al.* 2005 ; Alvarez et *al.* 2006 expliquant que la diminution continue de la DCO est provoqué par la transformation de la matière organique en biogaz, ce qui conduit par conséquent, à la réduction de la DCO [82] [83].

### III.3.3.Évolution de L'AGV :

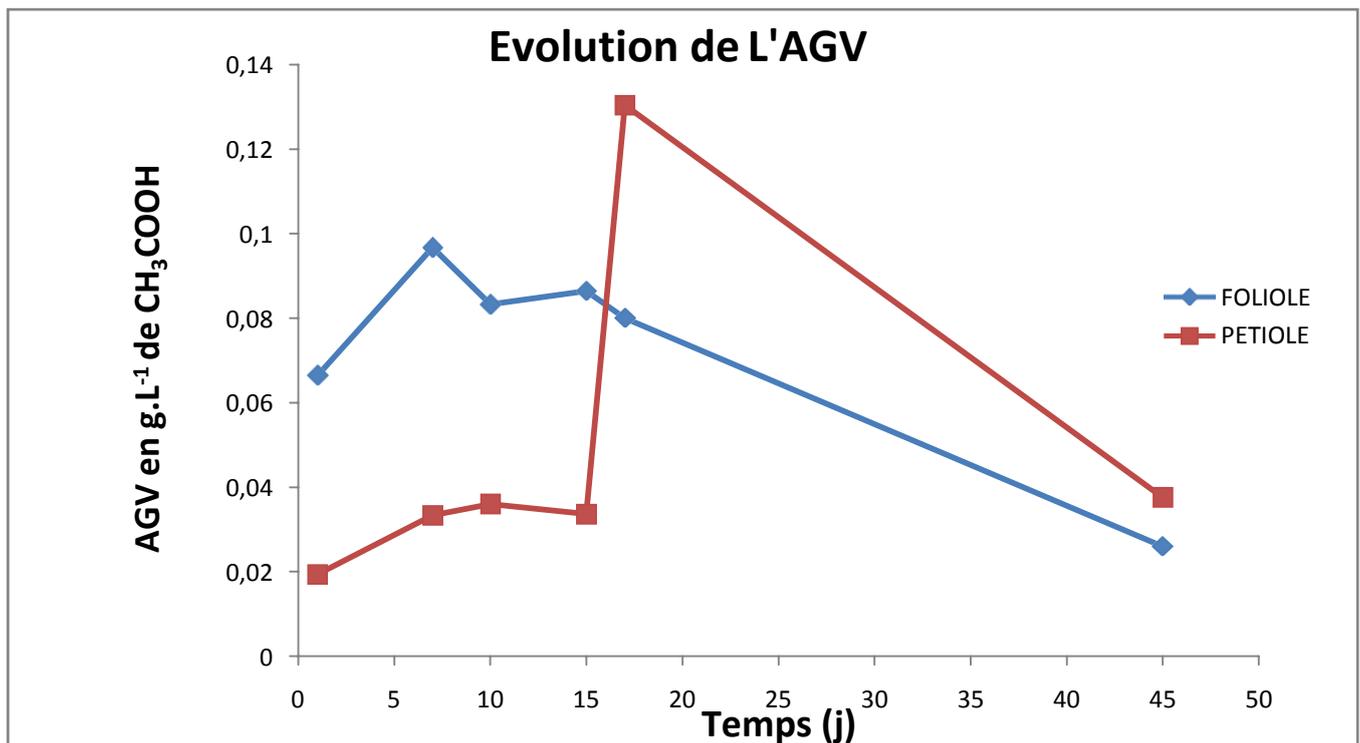
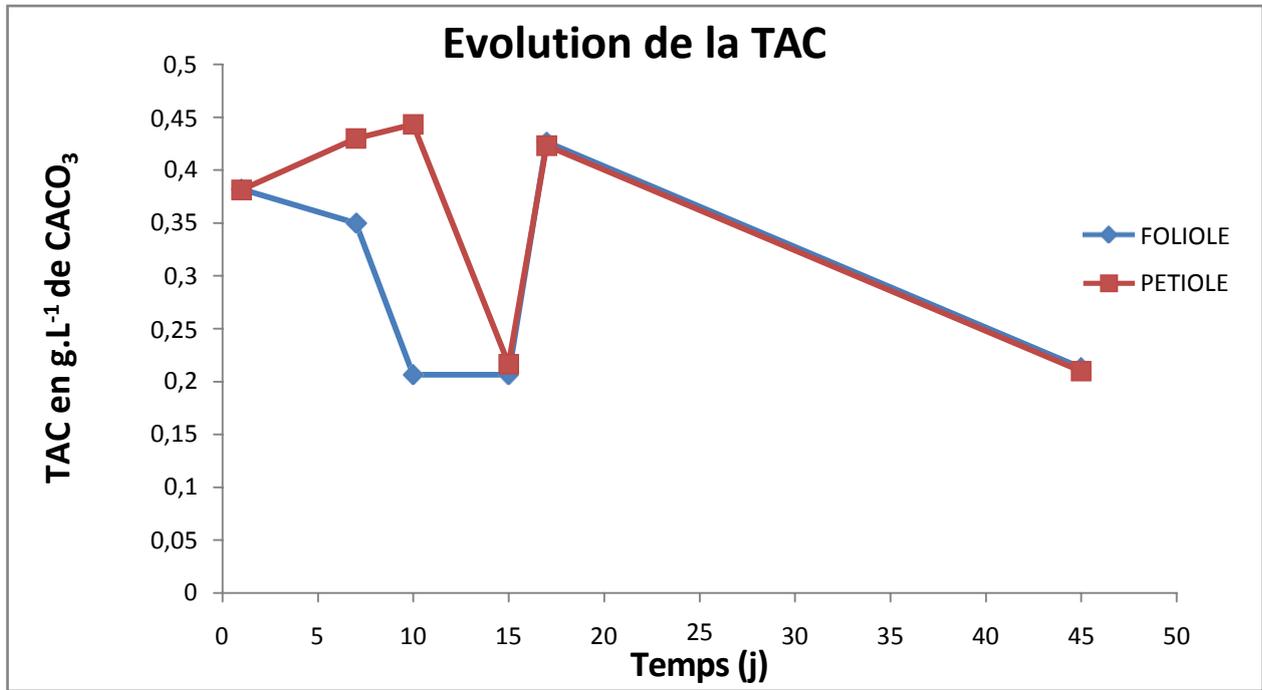


Figure 14: Evolution de L'AGV en fonction du temps.

La concentration en acides gras volatils (AGV) est un paramètre caractéristique des premières phases de la méthanisation. Le suivi de son évolution permet d'estimer l'état de dégradation du substrat [84]. La figure 14 représente les changements des AGV en fonction du temps lors de la digestion anaérobie des pétioles et des folioles. Les valeurs initiales des AGV des folioles sont plus grandes que celles des pétioles. Une augmentation rapide des valeurs des AGV au cours des sept premiers jours de  $0,06$  à  $0,09\text{ g.L}^{-1}$  de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  est enregistré pour les folioles. Cette augmentation est expliquée par la forte production des AGV (phase hydrolyse et acidogénèse) dû à la présence des substrats facilement biodégradable. Les mêmes remarques ont été enregistré par Rasiet al [85]. Concernant les pétioles, une faible augmentation des valeurs des AGV est enregistré dès le premier jour jusqu'au quinzième jours de  $0,019$  à  $0,033\text{ g.L}^{-1}$  de  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Cela est expliquée peut-être par la nature de substrat qui difficilement biodégradable. La valeur maximale des AGV de  $0,13\text{ g.L}^{-1}$  de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  est enregistré dix-septième jour. Cela est expliquée par la dégradation tardive du substrat. Après le septième jour pour les folioles et le

dix-septième jour pour les pétioles (jours de production maximale des AGV), les valeurs des AGV sont diminué continuellement jusqu'à la fin de digestion. Cette diminution est expliquée par la réalisation d'un équilibre entre les différentes bactéries acétogènes et méthanogènes et les autre bactérie dans le milieu réactionnelle. C'est- à-dire la transformation des AGV en biogaz [72].

### III.3.4.Évolution de la TAC :



**Figure 15 :Evolution de la TAC en fonction du temps.**

Le figure 15 représente la variation du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) au cours de la digestion anaérobie des folioles et des pétioles. Les résultats montrent que le milieu réactionnel possède un taux d'alcalinité important (supérieur à 0,2 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>) ce qui lui permet d'assurer le bon fonctionnement des digestion (Perez et al. 2006).

Une diminution des valeurs de TAC est enregistrée pour les digesteurs contenant les folioles au cours des 15 premiers jours de 0,38 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> jusqu'à 0,22 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>. Cette diminution est expliquée par la présence des AGV. Contrairement pour les pétioles, une augmentation de TAC lors des dix premiers jours de 0,38 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> jusqu'à 0,44 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>. Cette augmentation de TAC est expliquée par la faible teneur en AGV et DCO. Ensuite, une forte diminution des valeurs de TAC est enregistrée entre le 10<sup>ème</sup> et le 15<sup>ème</sup> jours toujours pour les pétioles. Cette diminution reflète la production des AGV. Après le 15<sup>ème</sup> jour, une forte augmentation de la TAC est enregistrée pour les deux substrat (pétioles et folioles). Ce phénomène est expliqué par la consommation des AGV. Finalement, une décroissance des valeurs de TAC pour les deux substrat jusqu'à la fin de la digestion pour atteindre une valeur de 0,21 g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> pour les deux substrat. Ces phénomènes de diminution et augmentation des valeurs de TAC sont expliqués par la nature de substrat difficilement biodégradable (lignocellulosique) [86].

III.3.5.Évolution de la rapport AGV/TAC :

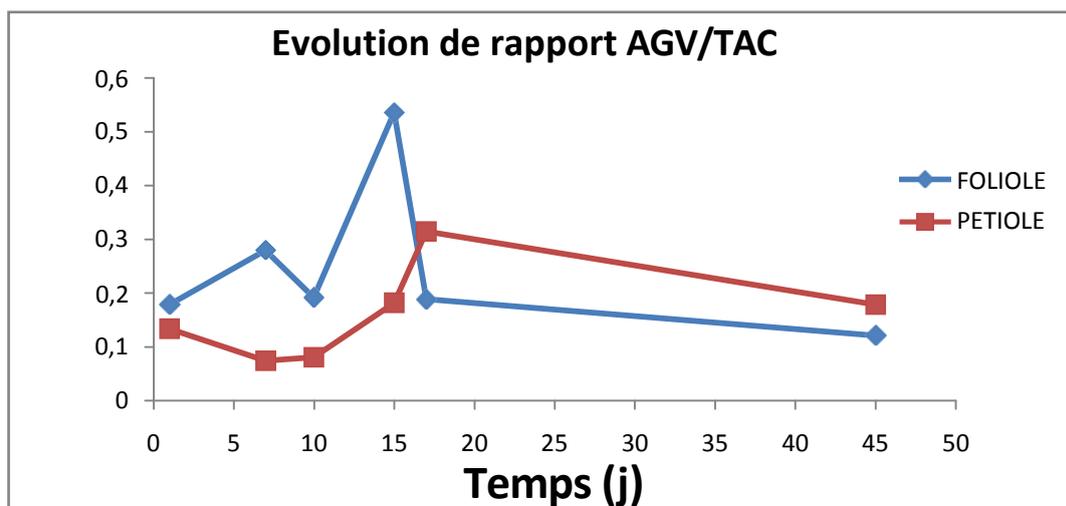


Figure 16: l'évolution de rapport AGV/TAC en fonction du temps.

La mesure du rapport AGV/TAC, c'est-à-dire de la quantité d'acides gras volatils formés par rapport à la capacité tampon du milieu réactionnel [87].

La figure 16, présente la variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps. La figure montre que ce rapport était inférieur à 0,5 pendant toute la période de la digestion pour les pétioles. Cette valeur, a été citée par kalloum[88], elle indique le bon fonctionnement du processus[89][90]. Concernant les folioles, une augmentation élève jusqu'à une valeur dépasser la valeur optimale > 0,5 au 15<sup>ème</sup> jours. Cette valeur est peut-être dû à la forte présence des acide gras volatile. A part cette valeur, toutes les valeurs qui restent sont inférieurs à 0,5 ce qui explique le bon fonctionnement du digesteur.

III.3.6.Evolution de la production de biogaz :

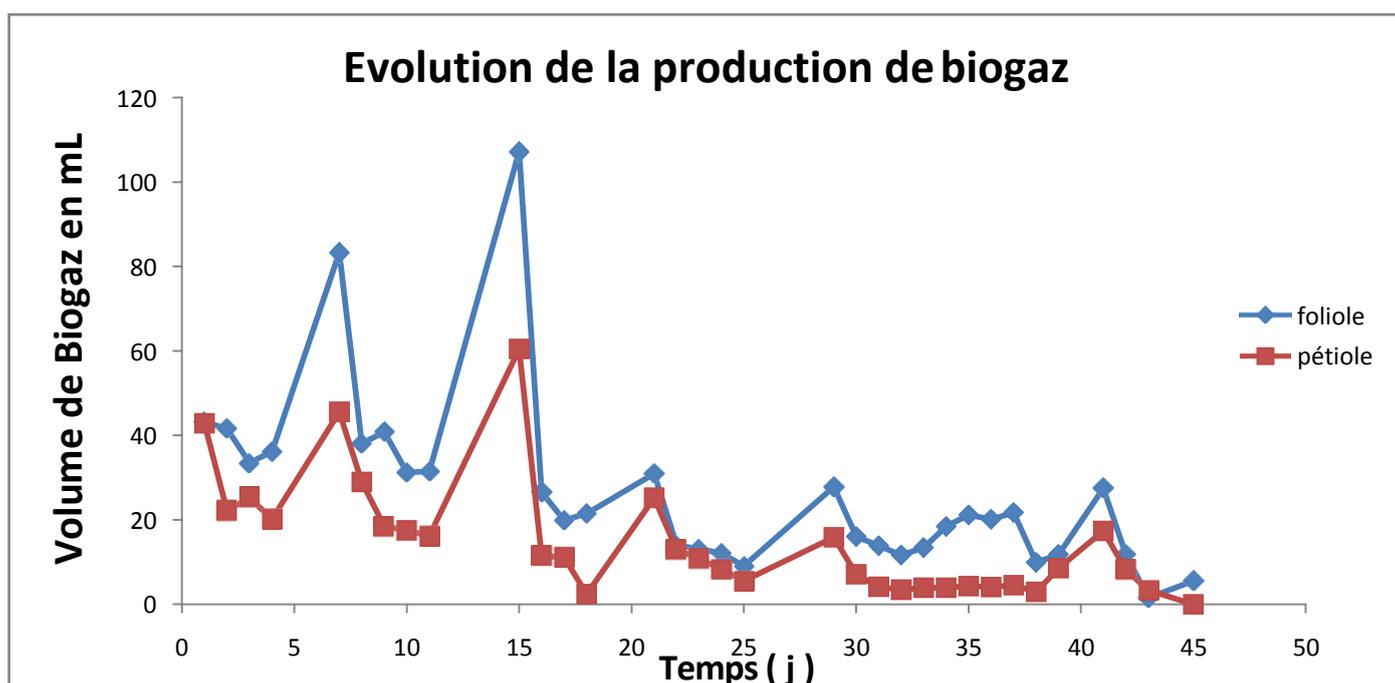
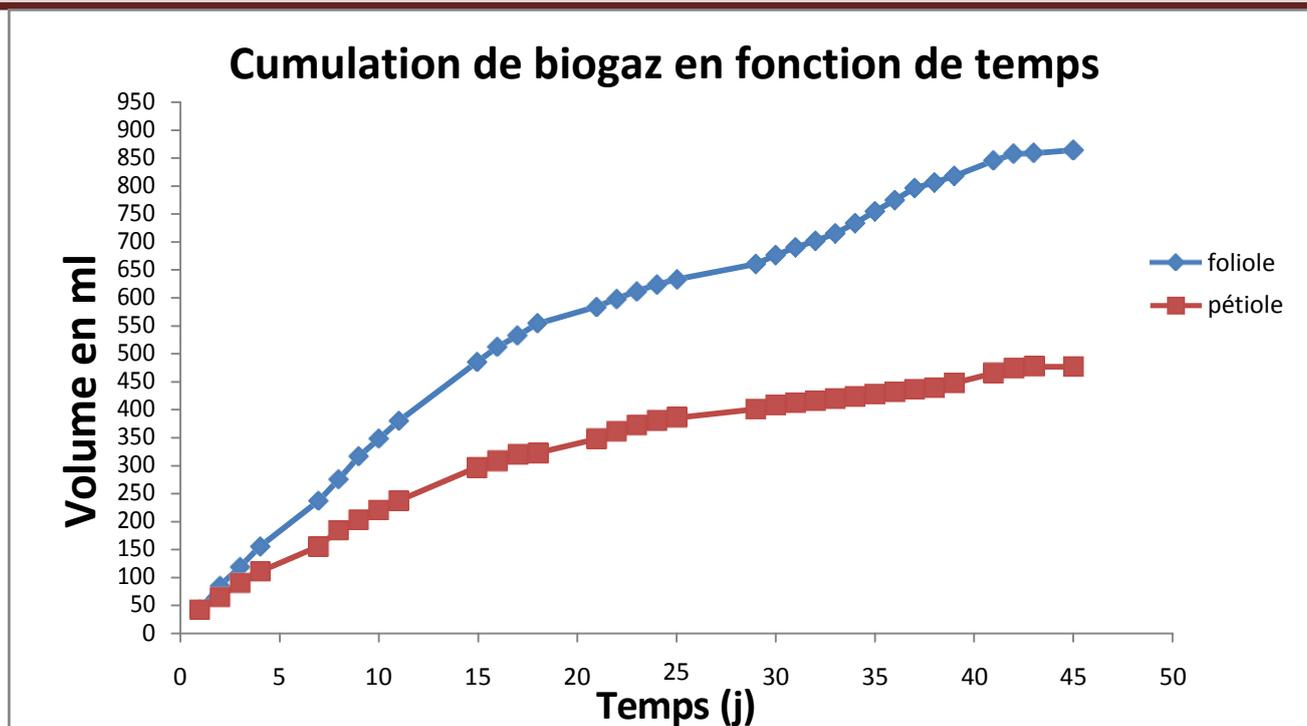


Figure 17 :Evolution de la production quotidien en biogaz en fonction du temps.



**Figure 18 : Cumulation de biogaz en fonction du temps .**

La figure 18 représente la production quotidienne en biogaz en fonction du temps. L'allure générale de la courbe démontre une production élevée du biogaz à partir des folioles contre les pétioles. Cette différence est en forte concordance avec les paramètres interprétés auparavant (PH, DCO, AGV, TAC et AGV/TAC). La diminution des valeurs de pH et AGV et l'augmentation de la DCO et TAC durant les sept premiers jours pour les folioles est accompagné par une augmentation de production du biogaz durant la même période. Alors que le contraire est enregistré pour les pétioles. Les deux pics importants de production du biogaz pour les deux substrats sont enregistrés au 15<sup>ème</sup> jour avec 107,23 ml pour les folioles et 60,43 ml pour les pétioles. Cela est bien évident par la diminution des valeurs des AGV et DCO (consommation et transformation des AGV et DCO en biogaz) [91]. Après le 15<sup>ème</sup> jour le volume quotidien en biogaz est diminué pour les réacteurs contenant les deux substrats jusqu'à la fin de digestion. Cette diminution est dû à la consommation du substrat facilement biodégradable. Le volume du biogaz total obtenu dans ce processus pendant 45j de digestion et égale  $864,67 \pm 20,83$  ml pour les folioles et  $476,97 \pm 13,60$  ml pour les pétioles. Ces valeurs sans calculer avec le blanc, après la soustraction des valeurs du blanc estimer de  $302,66 \pm 5,82$  ml, la nouvelle valeur devienne  $562 \pm 20,83$  ml pour les folioles et  $174,30 \pm 13,60$  ml pour les pétioles.



# **Conclusion générale**



### Conclusion

La wilaya d'Adrar est considérée comme une région agricole par excellence car elle possède des terres fertiles et approximatives des eaux souterraines, ce qui a contribué à la relance des projets de remises en état des terres cultivables dans toutes ses régions.

Après l'opération de nettoyage annuelle des palmiers dattier une grande quantité de déchet lignocellulosique est générée. Autre fois ces déchets étaient valorisés traditionnellement dans les différentes activités de vannerie, construction des maisons, fabrication des meubles, ainsi que la cuisson et l'aliment de bétail. Cependant ces activités sont en déclin et ces déchets sont de nos jours brûlés directement à l'air libre. Pour cela de nouveaux modes de valorisation sont suggérés pour mieux valoriser cette biomasse perdue sous forme de matière ou de bioénergie telle que le biogaz.

D'après notre prospection faite au niveau de trois jardins du Kasser Beni Tameur, commune de Timmi, sur les palmiers dattiers (Phoenix dactylifera L) Variété Hmira. Nous avons remarqué que durant le cycle agricole (chaque année ou deux années successivement) une importante quantité de déchets lignocellulosiques phoenicicoles est générée avec une moyenne de 8 kg de déchets par palmier. Les palmes sèches et les pétioles constituent le major parti de ces déchets avec un pourcentage de 85,52% du poids total.

Cette grande quantité de palmes sèches et de pétioles récoltés fait d'eux un élément de choix pour les utiliser comme substrats d'alimentation des digesteurs afin de produire du biogaz par le processus de la digestion anaérobie.

Les analyses ont montré la richesse de ces substrats en matière organique avec un pourcentage de 85,53% et 90,88% pour les folioles et les pétioles respectivement. De plus, le suivi des paramètres de contrôle (DCO, AGV et TAC) montre une augmentation de ces derniers et un changement important dans le fonctionnement des digesteurs avec un dépassement de la valeur optimale du rapport AGV/TAC ( $> 0.5$ ) et une augmentation de pH dès le début de la digestion et cela pour les deux substrats. Cette augmentation est traduite par une production importante de biogaz pour les deux substrats avec un rendement de **112,4 ± 20,83 ml/g de MO** pour les folioles et **34,86 ± 13,60 ml/g de MO** pour les pétioles.

Les résultats obtenus sont prometteurs et montrent la grande valeur énergétique de ces déchets surtout si leur valorisation s'étend à d'autres régions et d'autres variétés pour produire du biogaz et des biocarburants en général.

Nous espérons que d'autres études seront réalisées pour déterminer la composition de folioles et de pétiole afin de mieux comprendre la différence dans la production de biogaz entre ces deux substrats ainsi que les changements remarquables dans les paramètres de contrôle DCO, AGV et TAC au cours de la digestion anaérobie.

Finalement, l'utilisation énergétique des déchets lignocellulosiques phoenicicoles peut remplacer une grande partie des produits pétroliers et répondre aux besoins futurs en énergie et principalement réduire la pollution atmosphérique par l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable moins polluante.



# Les Références



## Les références

- [1]. Mohammed Djaafri, Slimane Kalloum, Kamel Kaidi, Fethya Salem, Soumia Balla, Djelloul Meslem & Abdelkader Iddou «Enhanced Methane Production from Dry Leaflets of Algerian Date Palm (Phoenix dactylifera L) Hmira Cultivar, by Alkaline Pretreatment », Waste and Biomass Valorization DOI 10.1007/s12649-018-00574-w , springer 2020 .
- [2]. C. Bonechi, M. Consumi, A. Donati, G. Leone, A. Magnani, G. Tamasi, C. Rossi «Biomass: An overview » University of Siena, Siena, Italy, 2017.
- [3]. Bouguedoura N, Si-dehbi F, Moussouni S et Chabane D, «Les biotechnologies au service du développement de la phoeniciculture »Conférence, Salon International des dattes Biskra 2015..
- [4]. «OCDE / AIE De la 1ère à la 2ème génération de technologies des biocarburants, aperçu de l'industrie actuelle et des activités de RD&D», 2008
- [5]. J.L. Bal, B. Chabot, «Les énergies renouvelables : État de l'art et perspectives de développement», 2001.
- [6]. Mohammad ben Ammar « Les énergies renouvelables en Algérie ... l'alternative sûre », **Site** <https://www.aljazeera.net/blogs/2018/8/29/> .
- [7]. MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE «Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie » février 2011, révisée en mai 2015.
- [8]. **Site**«<https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>»
- [9]. **Site** «[https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc\\_num.php?explnum\\_id=588](https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=588)»
- [10]. Document « Technology and Applications of Polymers Derived from Biomass : Biomass and its sources » **Site** <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51115-5.00002-5> , Elsevier Inc , 2018.
- [11]. «La biomasse - Énergies nouvelles et renouvelables ; Un élément clé au service d'une croissance durable » 28 - 29 mars 2013 Union des Industries Chimiques (PARIS LA DEFENSE).

- [12]. M. Belkadi «Etude technique pour la valorisation énergétique des micro algues' ,université de m'hamed bougara» boumerdes ,Juin 2009.
- [13]. L. Nabila, «Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique», université El- Hadj Lakhdar, Batna, 2009 .
- [14]. **Site** «<http://biomasse-conseil.fr/content/la-biomasse>»
- [15]. Kasturi Dutta, Achlesh Daverey, Jih-Gaw Lin , Review «Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation », Institute of Environmental Engineering, National Chiao Tung University, 1001 University Road, Hsinchu City 30010, Taiwan , 2014 .
- [16]. «Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP», Vol. 54 (1999), No. 1, pp. 67-94 Copyright © 1999, Éditions Technip"Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique " J.-C. Ogier, D. Ballerini , J.-P. Leygue , L. Rigal et J. Pourquoié ,
- [17]. DJERBI M. (1994) « Précis de phoeniciculture» F.A.O. Rome, 192 p.
- [18]. GILLES P. (2000)«Cultiver le palmier dattier" » Ed. CIRAS, 110 p.
- [19]. MAZOYER M. (2002) « Le monde agricole au XXIème siècle» Ed. Mathilde Majorel, 224p.
- [20]. BAATOU Z, DAOUD Z « Valorisation d'une biomasse ligno-cellulosique locale : noyaux de dattes en charbon actif » UNIVERSITE d'ADRAR , mai 2016 .
- [21]. ESPIARD E.(2002) «Introduction à la transformation industrielle des fruits» Ed. Tech et Doc Lavoisier, 360 p.
- [22]. Munier P. 1973 « Le palmier dattier techniques agricoles et production tropicales G .P.Maisonneuve & Larose» Paris, 221p .
- [23]. Saeed Nawoura « Le plus grand producteur de dattes au monde» **Site** «<https://mawdoo3.com/>» , 01 2019 .
- [24]. **Site** <https://fr.statista.com/statistiques/946734/production-mondiale-dattes-volume/>
- [25]. **Site** <https://fr.statista.com/statistiques/991013/production-totale-de-dattes-par-type-algerie/>

- [26]. G. Tourer N « Le Palmier dattier culture et production» Octobre 1967 , p 93
- [27]. S.Hannachi , A.Benkhelifa ,D.Khitri ,R.A.Brac de la Perrière « Inventaire de la palmeraie Algerienne » , Alger , Mars 1998 .
- [28]. Institut de recherche agricole , Oulad Issaa Timie Adrar 2014
- [29]. Emmanuel Galiwangoa Nour S.Abdel Rahmana Ali H.Al-Marzouqia Mahdi M.Abu-Omarb Abbas A.Khaleelc « Isolation and characterization of cellulose and  $\alpha$ -cellulose from date palm biomass waste » .
- [30]. Ramadan A. Nasser , Mohamed Z. M. Salem, Salim Hiziroglu , Hamad A. Al-Mefarrej , Ahmed S. Mohareb , Manawwer Alam , Ibrahim M. Aref «Chemical Analysis of Different Parts of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Using Ultimate, Proximate and Thermo-Gravimetric Techniques for Energy Production ».
- [31]. Héctor A. Ruizb, Daniel P. Silvac, Denise S. Ruzenec, José A. Teixeirad and Maria Lourdes «Cellulose from Lignocellulosic Waste Michele Michelina».
- [32]. Schneider S.H « The greenhouse effect: science and policy » Science 243 (4892), 771- 781, 1989 .
- [33]. Alessandro Senatore , Francesco Dalena, Alessia Sol , Alessia Marino , Valeria Valletta et Angelo Basile «First-generation feedstock for bioenergy production », DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00002-1> , Angelo Basile and Francesco Dalena, Elsevier Inc 2019 .
- [34]. Difallah Amor «Etude de l'évolution de la consommation énergétique d'irrigation des palmiers et le potentiel d'intégration du bioéthanol des déchets des dattes » Mémoire de fin d'études Master , UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2014.
- [35]. Abdelrahman B. Fadhila , Mohammed A. Alhayalia , Liqaa I. Saeedb «Date (*Phoenix dactylifera* L.) palm stones as a potential new feedstock for liquid bio-fuels production» <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.059> , Elsevier Ltd 2017 .
- [36]. Abd-Alla M.H, Morsy F.M, et El-Enany A.W.E.« Hydrogen production from rotten dates by sequential three stages fermentation » Botany Department, Faculty of Science, Assiut University, Assiut 71516, Egypt 2011.

- [37]. Yiridoe, E. K., Gordon, R., and Brown, B. B. (2009). «Non-market co-benefits and economic feasibility of on-farm biogas energy production »Energy Policy 37, 1170- 1179
- [38]. Fahad Y. Al-Juhaimi, Siddig H. Hamad, Ibraheem S. Al-Ahaideb, Mutlag L. Al-Otaibi,b Kashif Ghafoor, Tasneem Abbasi, and S.A. Abbasi « Biogas Production through the Anaerobic Digestion of Date Palm Tree Wastes - Process Optimization» Al-Juhaimi et al "Biogas from date palm" Bio Resources 9(2), 3323-3333, (2014).
- [39]. Grover V.I, Grover V.K., Hogland W, « Recovering energy from waste Various Aspects. Science Publishers » Enfield (NH), USA, 1<sup>er</sup> edit (2002).. p:44-45.
- [40]. Leschine S.B « Cellulose Degradation in anaerobic environments » Rev (1995) , Microbiology, 49 399-426.
- [41]. Khalidah A. Jaafar « Production de biogaz par digestion anaérobie du palmier dattier Déchets de pâte Centre Edrici de consultation environnementale et technique » Journal d'ingénierie d'Al-Khwarizmi, vol. 6, n ° 3, PP 14-20, 2010.
- [42]. Jean-Louis «Polomé pour valbio systeme de biiméthanisation » p 4.
- [43]. BOUTOUTA IMANE « Valorisation énergétique des déchets solide urbains de la ville de blida ». 2011/2012 , Blida .
- [44]. Joaneson LACOUR « Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti » N° d'ordre : 2012 ISAL0026 L'Université Quisqueya (Haïti) 2012 .
- [45]. K.Kaidi «Etude comparative de la digestion anaérobie de différents déchets organiques» mémoire licence, université d'Adrar, 2013.
- [46]. L.E. Marache, «La méthanisation des effluents et déchets organiques : état des connaissances sur le devenir pathogène » thèse de doctorat, université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 2001.
- [47]. **document** « De la matière organique au biogaz - ADEME Franche-Comté » **site** : <https://bourgogne-franche-comte.ademe.fr/sites/default/files/comment-se-transforme-la-matiere-organique-en-energie.pdf>

- [48]. A. Dahou, «la production de biogaz à partir de lagunage de la wilaya d'Adrar » université Kasdi Merbah, Ouargla, 2010.
- [49]. I .Angelidaki , B.KAhring «Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: Effect of temperature » [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90153-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90153-8) Water Research Volume 28, Pages 727-731, March 1994.
- [50]. GeorgeT chobanoglous , Franklin L.Burton , H.David Stensel « Wastewater engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition) », Metcalf & Eddy Inc , 2003 .
- [51]. A. Mottet, «Recherche d'indicateurs de biodégradabilité anaérobie et modélisation de la digestion anaérobie thermophile : application aux boues secondaires d'épuration non traitées et prétraitées thermiquement », thèse de doctorat, université Montpelier, 2009.
- [52]. Yadvika, A.; Santosh, A.; Sreekrishan, T.R.; Kohli, S.; Rana, V. (2004) « Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques » Bioresource Technology, 95. Energy Information Administration. <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/usa.html>. November 27, 2005.
- [53]. N. Laskri, O. Hamdaoui, N. Nedjah, « Traitement et valorisation des déchets par procédé de digestion anaérobie : production du biogaz », Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda (23 – 26 23), 2007
- [54]. Essam ALMANSOUR « Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz : Approche par filière-type » THESE , Université Bordeaux 1 , France décembre 2011.
- [55]. Youssef ABARGHAZ « Promotion des techniques d'assainissement écologique a des fins de valorisation eaux uses – Das du projet pilote du Douar Dayet Dfrah »These de doctorat ,université mohamed V-AGDAL , Juin 2013
- [56]. Claire CHOTTIER « Composés Organiques Volatils du Silicium et sulfure d'hydrogène Analyse – Traitement – Impact sur la valorisation des biogaz » These de doctorat , Ecole doctorale de Chimie de Lyon , Année 2011 .
- [57]. RECORD 2003 «Méthanisation des déchets organiques» Etude bibliographique, 194p, n°01- 0408/1A.
- [58]. Kashyap D.R., Dadhich K.S., Sharma S.K. «Biomethanation under psychrophilic conditions: a review » Bioresource Technology 87, 147-153,2003 .

- [59]. Bouallagui H, Ben Cheikh R, Marouani L., Hamdi M « Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester » *Bioresource Technology* 86, 85-89, 2003.
- [60]. Ahring B.K." Status on science and application of thermophilic anaerobic Digestion". *Water Science & Technology* 30, No 12, 241-249,1994.
- [61]. Bertan de la farge «le biogaz procédés de fermentation méthaniques» Masson, Paris, 1995.
- [62]. R. Moletta« la méthanisation » 2 édition ,France, avril 2011.
- [63]. Bendixen, H. J. «Safeguards against pathogens in Danish biogas plants» *Water Science and Technology*, 30, (12), 171-180 (1994).
- [64]. Kerroum Derbal «Digestion Anaerobie Des Dechets Solides Melanges avec les boues de sttation d'epuration », thèse Universite Mentouri Constantine; 2007
- [65]. Schnurer, A., Schink, B. and Svensson, B. H. « Clostridium ultunense sp. nov., a Mesophilic bacterium oxidizing acetate in syntrophic association with a hydrogenotrophic methanogenic bacterium » *International Journal of Systematic Bacteriology*, 46, (4), 1145-1152 (1996).
- [66]. Münch, E. V. and Greenfield, P. F. « Estimating VFA concentrations in fermenters by measuring pH» *Water Research*, 32, (8), 2431-2441 (1998).
- [67]. Oles J, Dichtl N and Niehoff H, «Full scale experience of two stage thermophilic/mesophilic sludge digestion» *Water Science and Technology*, 36, (6-7), 449- 456 (1997).
- [68]. Bitton, G. «Wastewater microbiology» Wiley-Liss Editor, New York (1994).
- [69]. OTV «Traiter et valoriser les boues». Ouvrage collectif n°2, Editions Lavoisier, Cachan (1997).
- [70]. Kriker A. «Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud sec», Thèse de doctorat d'état, ENP, (2005) .
- [71]. Taallah « Étude du comportement physico-mecanique du bloc de terre comprimée avec fibres» Thèse de doctorat, Université Mohamed khider, Biskra. Algérie.182p,(2014).

- [72]. S. Kalloum, M. Khelafi, M. Djaafri, A. Tahri et A. Touzi « Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers » Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien , B.P. 478, Route de Reggane, 01000 Adrar 25 Décembre 2007.
- [73]. «Guide de suivi de la biologie sur une unite de methanisation agricole » Réalisé dans le cadre de l'Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France (AAMf), soutenu par l'ADEME ; Juin 2011.
- [74]. Boutadara K , Ben Ali L« Valorisation des déchets ligno-cellulosiques, issus du palmier dattier, en charbon actif » Memoire de fin d'etude master chimie de l'environnement Univd'ADRAR , 2017 .
- [75]. Sedra Moulay Hassan «Le Palmier Dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc » International Plant, Genetic Resources Institute.254p (2003) .
- [76]. CLEMENT J, 1981- «Larousse Agricole »,395-700 pages
- [77]. Bouziane Nacira, Abdelli Nassima «Valorisation de la matière lignocellulosique des déchets de palmier dattier (Phoenix dactylefera L.) comme fertilisant organique » Memoire de fin d'etude master chimie de l'environnement, UNIVERSITE d'ADRAR ,2017 .
- [78]. Soulimani Ahmed El-amine «Valorisation energetique des déchets des dattes a partir de la fermentation alcoolique suiver par la digestion anaerobie » Memoire de fin d'etude master chimie de l'environnement, UNIVERSITE d'ADRAR ,2018.
- [79]. S. Kalloum, M. Khelafi, M. Djaafri, A. Tahri et A. Touzi " Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers " , Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien , B.P. 478, Route de Reggane, 01000 Adrar 25 Décembre 2007)
- [80]. Dong Li, Shengchu Liu, Li Mi, Zhidong Li, Yuexiang Yuan, Zhiying Yan ,Xiaofeng Liu « Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and pig manure» , Bioresource Technology (2015), doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.040> .
- [81]. S. Kalloum, A. Iddou, M. Khelafi et A. Touzi «Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux

usées » , Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°4 (2013) 611 – 618  
Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS  
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER 01000 Adrar,  
Algeria .

[82]. Takdastan, A. Movahedian, H. Jafarzadeh, N. et Bina, B. «The Efficiency of Anaerobic Digesters on Microbial Quality of Sludge in Isfahan and Shahinshahr Waterwaste Treatment Plant.» Iranian J Env Health Sci Eng ( 2005): 56-59.

[83]. Alvarez, J.A. Ruiz, I. Gomez, M. Presas, J. et Soto, M. «Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature.» Bioresource Technology (2006 ): 1640–1649

[84]. A. Saïdi-Boulahia , S. Abada et M. Saber ,« Valorisation des déchets organiques ménagers et les déjections bovines par la méthanisation» Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah , Alger, Algérie .Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°4 (2018) 537 - 543 537 .

[85]. Rasi S, Seppl M, Rintala J. « Organic silicon compounds in biogases produced from grass silage, grass and maize in laboratory batch assays» Energy. 52 :137-142 , 2013;

[86]. Perez, M. Rodriguez-Cano, R. Romero, L.I. et Sales, D «Anaerobic thermophilic digestion of cutting oil wastewater: Effect of co-substrate.» Biochemical Engineering Journal (2006 ): 250-257

[87]. Frédéric Soumet «Production de biogaz : la surveillance en continu de la phase de méthanisation est la clé de la réussite »directeur des ventes chez Hach Lange, 22 avril 2014.

[88]. Kalloum Slimane « Etude des parametres physico-chimiques de la digestion anaerobie des deschets organiques » These Présentée pour obtenir le diplome de doctora en sciences , specialite: chimie , Universite Abdelhamid ibn badis mostaganem , 2012 .

[89]. Ake, N. Jarvis, S. Stenberg, B. Mathisen, B. et Svensson, H. «Anaerobic digestion of alfalfa silage with recirculation of process liquid.» Bioresource Technology (2006): 123-131.

[90]. Chen, S. J. Li, C.T. et Shieh, W. K. «Anaerobic fluidized bed treatment of an industrial Waste water.» *Journal of Water Pollution Control Federation* (1988): 1826-1832.

[91]. Leite A.F, Str H, Nikolausz M, Nelles M, Stinner W, Untreated C « Pre-treatment of filter cake for anaerobic digestion in sugarcane biorefineries: Assessment of batch versus semi-continuous experiments », *Renewable Energy* 143, 1416–1426, 2019 .



# **Les Annex**



Réacteur	<b>Foliole</b>			<b>Pétiole</b>			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
<b>PH</b>	7.61	7.89	7.95	7.71	7.66	7.93	
<b>V (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de TAC ( en mL )</b>	1.84	1.70	2.19	1.80	1.98	1.94	
<b>CAL TAC ( en g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> )</b>	0.368	0.340	0.438	0.360	0.396	0.388	
<b>V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV( en mL )</b>	0.08	0.1	0.08	0.15	0.06	0.04	
<b>V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV( en mL )</b>	0.4	0.42	0.27	0.28	0.16	0.14	
<b>CAL AGV en ( g.L<sup>-1</sup> de CH<sub>3</sub>COOH )</b>	0.0768	0.0768	0.0456	0.01008	0.024	0.024	
<b>V ( titrage de sel de Mohr par k<sub>2</sub>cr<sub>2</sub>o<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) , V = 12.3 mL</b>							
<b>VT ( Tube témoin)<sub>DCO</sub> VT = 4.25 mL</b>							
<b>VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )( en mL )</b>	3.35	2.95	3.80	4.15	4.20	3.95	4.25
<b>T ( titre de sel de Mohr )</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>D (facteur de dillution )</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Cal de DCO (mg o<sub>2</sub>/L)</b>	2400	34666.6	12000	2666.6	1333.3	8000	
<b>Volume de gaz produit( en mL )</b>	35.3	25.7	68.4	30.8	64.9	32.8	
<b>Rapport AGV / TAC</b>	<b>0.208</b>	<b>0.225</b>	<b>0.104</b>	<b>0.280</b>	<b>0.060</b>	<b>0.061</b>	

Réacteur	<b>Foliole</b>			<b>Pétiole</b>			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
<b>PH</b>	7.57	7.46	8.13	8.32	8.38	8.38	
<b>V (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de TAC ( en mL )</b>	1.35	1.69	2.24	2.26	2.08	2.16	
<b>CAL TAC ( en g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>)</b>	0.27	0.34	0.44	0.45	0.41	0.43	
<b>V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV( en mL )</b>	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.11	
<b>V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV( en mL )</b>	0.29	0.7	0.42	0.24	0.17	0.26	
<b>CAL AGV en ( g.L<sup>-1</sup> de CH<sub>3</sub>COOH)</b>	0.06	0.15	0.08	0.04	0.03	0.03	
<b>V ( titrage de sel de Mohr par k<sub>2</sub>cr<sub>2</sub>o<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ) , V = 12.06 mL</b>							
<b>VT ( Tube témoin)<sub>DCO</sub> VT = 4.49 mL</b>							
<b>VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )( en mL )</b>	4.38	4.15	3.66	4.00	4.07	4.14	4.49
<b>T ( titre de sel de Mohr )</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>D (facteur de dilution )</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Cal de DCO (mg o<sub>2</sub>/L)</b>	29333.3	90666.6	22133.3	130666.6	112000.0	93333.3	
<b>Volume de gaz produit( en mL )</b>	99.1	62.0	88.9	25.3	45.2	66.1	
<b>Rapport AGV / TAC</b>	<b>0.22</b>	<b>0.44</b>	<b>0.18</b>	<b>0.08</b>	<b>0.073</b>	<b>0.069</b>	

Réacteur	Foliole			Pétiole			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
PH	7.70	8.02	8.10	8.30	8.31	8.34	
V (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) de TAC ( en mL )	2.20	2.10	2.30	2.18	2.27	2.25	
CAL TAC ( en g.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	0.44	0.42	0.46	0.43	0.45	0.45	
V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV( en mL )	0.03	0.04	0.06	0.03	0.06	0.05	
V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV( en mL )	0.30	0.58	0.29	0.23	0.20	0.16	
CAL AGV en ( g.L <sup>-1</sup> de CH <sub>3</sub> COOH)	0.0648	0.1296	0.0552	0.048	0.0336	0.0264	
V ( titrage de sel de Mohr par k <sub>2</sub> cr <sub>2</sub> o <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) , V = 12.06 mL							
VT ( Tube témoin) <sub>DCO</sub> VT = 4.64 mL							
VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )( en mL )	4.38	4.42	4.06	4.34	4.69	4.68	4.64
T ( titre de sel de Mohr )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D (facteur de dilution )	100	100	100	100	100	100	100
Cal de DCO (mg o <sub>2</sub> /L)	69333.3	58666.6	154666.6	80000	0.00	0.00	
Volume de gaz produit( en mL )	48.2	19.8	26.2	15.9	13.9	18.8	
Rapport AGV / TAC	0.147	0.308	0.120	0.110	0.074	0.058	

\* Les volume de titrage des tube des échantillons 08 ; 09 ; sont donner des fausse resulta dans les calcule de la DCO , donc on a fait une deuxième prélèvement avec un nouveaux Témoin .

**Méteur et calcule de la DCO et AGV** ( 2<sup>émé</sup> prélèvement pour les échantillons 08 ; 09 ; T )

Réacteur	<b>Foliole</b>			<b>Pétiole</b>			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
<b>PH</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>V (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de TAC ( en mL )</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>CAL TAC ( en g.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>)</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV( en mL )</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV( en mL )</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>CAL AGV en ( g.L<sup>-1</sup> de CH<sub>3</sub>COOH)</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>V ( titrage de sel de Mohr par k<sub>2</sub>cr<sub>2</sub>o<sub>7</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) , V = 12.06 mL</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>VT ( Tube témoin)<sub>DCO</sub> VT = 4.27 mL</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )( en mL )</b>	/	/	/	/	4.19	4.18	4.27
<b>T ( titre de sel de Mohr )</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>D (facteur de dillution )</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Cal de DCO (mg o<sub>2</sub>/L)</b>	/	/	/	/	21333.3	24000	/
<b>Volume de gaz produit( en mL )</b>	/	/	/	/	/	/	/
<b>Rapport AGV / TAC</b>	/	/	/	/	/	/	/

Réacteur	Foliole			Pétiole			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
PH	7.93	7.87	8.01	8.17	8.49	8.50	
V (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) de TAC	1.10	0.94	1.07	0.91	1.69	0.68	
CAL TAC	0.22	0.19	0.21	0.18	0.34	0.13	
V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV	0	0.24	0.1	0.01	0	0	
V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV	0.21	0.89	0.32	0.28	0.08	0.07	
CAL AGV	0.0504	0.156	0.0528	0.0648	0.0192	0.0168	
V ( titrage de sel de Mohr par k <sub>2</sub> cr <sub>2</sub> o <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) , V =							
VT ( Tube témoin) <sub>DCO</sub> VT =4.62							
VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )	4.34	4.03	4.39	4.09	4.45	4.48	
T ( titre de sel de Mohr )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
D (facteur de dilution )	100	100	100	100	100	100	
Cal de DCO (mg o <sub>2</sub> /L)	7466.66	15733.33	6133.33	14133.33	4533.33	3733.33	
Volume de gaz produit	131.4	76.6	113.7	57.8	47.3	76.2	
Rapport AGV / TAC	<b>0.2290</b>	<b>0.8210</b>	<b>0.2514</b>	<b>0.3600</b>	<b>0.0564</b>	<b>0.1292</b>	

Réacteur	Foliole			Pétiole			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
PH	7.96	7.85	8.18	8.24	8.35	8.37	
V (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) de TAC	2.06	2.09	2.24	2.23	2.07	2.06	
CAL TAC	0.41	0.42	0.45	0.45	0.41	0.41	
V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV	0.03	0.06	0.04	0.06	0.07	0.08	
V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV	0.22	0.68	0.23	0.25	0.21	0.21	
CAL AGV	0.0456	0.1488	0.0456	0.0456	0.0336	0.312	
V ( titrage de sel de Mohr par k <sub>2</sub> cr <sub>2</sub> o <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) , V =12.08							
VT ( Tube témoin) <sub>DCO</sub> VT =4.67							
VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )	4.66	4.40	4.65	3.24	4.38	4.23	
T ( titre de sel de Mohr )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
D (facteur de dillution )	100	100	100	100	100	100	
Cal de DCO (mg o <sub>2</sub> /L)	266.66	7200	533.33	38133.33	7733.33	11733.33	
Volume de gaz produit	16.8	14.9	27.8	10.2	10.4	12.8	
Rapport AGV / TAC	<b>0.1112</b>	<b>0.3542</b>	<b>0.1013</b>	<b>0.1013</b>	<b>0.0819</b>	<b>0.7609</b>	

Réacteur	Foliole			Pétiole			Tube Témoin
	04	05	06	07	08	09	
PH	8.44	8.42	8.49	8.39	8.63	8.52	
V (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) de TAC	1.05	1.07	1.10	1.05	1.08	1.04	
CAL TAC	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.20	
V2 (NAOH a PH= 4) De l'AGV	0.04	0.05	0.13	0.04	0.06	0.04	
V3 (NAOH a PH= 7) De l'AGV	0.17	0.18	0.27	0.26	0.20	0.15	
CAL AGV	0.0312	0.0132	0.0336	0.0528	0.0336	0.0264	
V ( titrage de sel de Mohr par k <sub>2</sub> cr <sub>2</sub> o <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) , V =12.48							
VT ( Tube témoin) <sub>DCO</sub> VT =4.64							
VE (titrage par sel de Mohr des tubes d'échantillons )	4.54	4.57	4.62	4.54	4.44	3.77	
T ( titre de sel de Mohr )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
D (facteur de dilution )	100	100	100	100	100	100	
Cal de DCO (mg o <sub>2</sub> /L)	2666.6	1866.66	533.33	2666.66	5333.33	23200	
Volume de gaz produit	0	0	16.4	0	0	0	
Rapport AGV / TAC	<b>0.1485</b>	<b>0.0628</b>	<b>0.1527</b>	<b>0.2514</b>	<b>0.1527</b>	<b>0.1320</b>	

## Mesure journalier de biogaz produit

N° de digesteur	Balnc			Foliole			Pétiole		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>22-juin</b>	20,1	25,8	21,4	35,3	25,7	68,4	30,8	64,9	32,8
<b>23-juin</b>	3,5	9,6	11,8	47,1	29,1	48,6	16,8	21,22	28,5
<b>24-juin</b>	0	10,2	11,8	38,1	20,3	41,9	22	22,1	31,7
<b>25-juin</b>	7,9	17,1	17,1	43,9	23,9	40,6	18,9	20,1	21,6
<b>28-juin</b>	8,7	28,1	28,5	99,1	62	88,9	25,3	45,2	66,1
<b>29-juin</b>	7,4	19,5	15,2	47,2	28,8	38,1	16,2	37,4	33,2
<b>30-juin</b>	15,6	12,8	15,3	66,9	25,3	30,2	10,2	24,3	20,8
<b>01-juil</b>	6,7	11,7	13,5	44,8	20,9	27,8	9,3	20,7	22,6
<b>02-juil</b>	4,6	5,3	20,3	48,2	19,8	26,2	15,9	13,9	18,8
<b>06-juil</b>	13,2	16,2	39,5	131,4	76,6	113,7	57,8	47,3	76,2
<b>07-juil</b>	9,9	9,8	18,8	20,5	24,9	34,1	9,1	13,4	12
<b>08-juil</b>	12,7	5,9	9,1	16,8	14,9	27,8	10,2	10,4	12,8
<b>09-juil</b>	12,2	6,3	7,8	6,4	9,5	48,4	0	2,6	4,6
<b>12-juil</b>	28,2	10	12,1	35,2	17,1	40,5	29	24,1	22,5
<b>13-juil</b>	17,2	4,7	6,9	15,9	13,9	12	15,5	7,7	15,6
<b>14-juil</b>	15,6	4,7	5,7	12,3	15,8	11	8,9	10,3	13,3
<b>15-juil</b>	12,3	3,1	4	10,1	16,4	9,7	5,9	8,2	10,8
<b>16-juil</b>	8	1,7	2,4	7	14,5	5,6	3,6	5,2	7,8
<b>19-juil</b>	17,3	10,3	6,8	21,8	46,4	15,1	13,8	14,2	19,6
<b>20-juil</b>	8,4	3,3	1,8	8,9	29,6	9,5	3,8	6,1	11,3
<b>21-juil</b>	5,8	2,9	2,7	4,6	33,3	3,6	4,1	3,2	5,1
<b>22-juil</b>	4,7	3,1	2,4	3,3	28,7	2,8	3,1	2,8	4,4
<b>23-juil</b>	5,2	3,4	3,8	0	34,7	5,4	2,9	3,6	5,2
<b>24-juil</b>	4,8	3,8	2,8	10,4	38,6	6,2	3,2	3,8	4,8
<b>25-juil</b>	3,9	4,2	3,2	15,6	42,9	4,8	4,4	3,6	4,9
<b>26-juil</b>	4,7	3,9	3	12,4	43,6	4,3	3,8	3,3	5,1
<b>27-juin</b>	4,4	6,2	3,6	13,6	46,8	4,7	4,2	3,9	5,5
<b>28-juil</b>	3,2	3,6	2,9	4,8	21,7	3,1	2,1	2,6	4,1
<b>29-juil</b>	11,8	13,2	7,4	3,4	18,7	13,2	10,3	15,3	0
<b>01-août</b>	15,2	11,4	14	21,9	43,5	16,9	13,6	21,3	17,2
<b>02-août</b>	4	4,7	4,3	0	26,2	9,1	8,2	9,2	7,2
<b>03-août</b>	0	0	0	0	3,2	1,2	2,2	4,2	3,6
<b>05-août</b>	0	14,4	0	0	0	16,4	0	0	0