

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 :
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Thème:

**Production de biogaz à partir des tourteaux des noyaux
des dattes dans la région d'Adrar**

Préparé par :

Mlle. BENDJERAD Fatima Zohra

Mlle. BENKHEIRA Rofaida

Membres de jury d'évaluation :

| | | | |
|---------------------------------|------------------|------------|-----------------------|
| M. HADJ KOUIDER Mohammed | Président | MCB | Univ. Adrar |
| M. BOULAL Ahmed | Encadreur | MCA | Univ. Adrar |
| M. KHALAFI Mostefa | Examineur | AR | URER/MS. Adrar |

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

J' ai l' honneur de dédier ce travail :

A ma chère mère, A mon cher père, A mes sœurs, A mes frères, A toute la
famille BENDJERAD.

A mes amies.

Fatima Zohra

Dédicace

A moi même pour accomplir ce travail, et ces cinq années d' étude.

A l' âme de mon père disparu trop tôt.

Et tous personnes qui m' ont encouragé et soutenu dans
mes moments les plus difficiles.

A ce professeur qui m' a conseillé de quitter mes études à cause de ma
maladie.

Rofaida

Remerciement

On tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de nos
lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous voudrions adresser notre premier remerciement t à Notre directeur de mémoire
Dr. BOULAL Ahmed. Enseignant Chercheur à l'Université Ahmed Draïa-Adrar, pour
sa patience, sa
disponibilité et ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter
notre réflexion.

Nous tenons à remercier **Dr. HADJ KOUIDER Mohammed**, Enseignant Chercheur
à l'Université d'Adrar, d'avoir bien voulu accepter de présider le jury de ce mémoire.

Nous remercions également **Mr. KHELAFI Mostefa**, Attaché de Recherche à
l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER/MS)-Adrar,
d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également **Mr. HADERI K.** L'intervenants professionnel responsables
de notre formation au URER/MS-Adrar, et **Mr. BOUKHETTACH I.** pour son aide qui
était toujours présente pendant ce travail.

Merci.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la diversification des ressources des énergies renouvelables comme une biomasse. Dans cette recherche, nous nous sommes focalisés sur la valorisation des tourteaux (résidus) des noyaux des dattes, cette matière non comestible par l'homme est considérée comme un déchet non valorisé, qui lui permettent d'être un matériau valorisable pour la production de biogaz, ainsi que les techniques adoptées pour atteindre les meilleurs résultats en termes de qualité. Grâce aux procédés technologiques.

La méthanisation est une biodégradabilité de la matière organique à l'aide de l'activité des bactéries méthanogènes (micro-organismes) dans un milieu anaérobique. Par un montage d'un prototype de digesteur au niveau du laboratoire nous avons pris en considération dans ces essais les quantités optimales de biogaz produites par chaque échantillon testé. Notre expérience s'est déroulée dans des conditions contrôlées et des notes ont été quotidiennement prises pendant une durée de 60 jours. Les résultats de cette étude ont montré que le volume du biogaz produit accumuler 1449 ml de biogaz à partir de l'échantillon non traité et de 2817.5 ml de l'échantillon traité, et nous avons pu obtenir une source d'énergie traduite par une flamme en contact avec du feu. En conclusion, les résultats de la présente recherche montrent clairement que la conversion de la matière organique contenue dans les déchets traités donné un bon rendement.

Mots clés : Noyaux des dattes, digestion anaérobie. Biogaz, énergies renouvelables.

Abstract

This work is part of the diversification of renewable energy resources such as biomass. In this research, we focused on the recovery of cake (residues) from date seed, this material inedible by humans is considered as non-recovered waste, which allows it to be a valuable material for the production of biogas, as well as the techniques adopted to achieve the best results in terms of quality. Due to technological processes. Methanization is the biodegradability of organic material using the activity of methanogenic bacteria (microorganisms) in an anaerobic environment. By assembling a prototype digester at the laboratory, we took into account in these tests the optimal quantities of biogas produced by each sample tested. Our experiment took place under controlled conditions and notes were taken daily for a period of 60 days. The results of this study showed that the volume of biogas produced accumulate 1449 ml of biogas from the untreated sample and 2817.5 ml of the treated sample, and we were able to obtain an energy source reflected by a flame in contact with fire. In conclusion, the results of the present research clearly show that the transformation of organic matter contained in the treated waste gave a good performance.

Key words: Date seed, anaerobic digestion, Biogas, renewable energies.

ملخص

يندرج هذا العمل في إطار تنويع موارد الطاقة المتجددة من الكتلة الحيوية، وفي هذا البحث ركزنا على تثمين بقايا او مخلفات استخراج الزيت من نوى التمر، وتعتبر هذه المادة غير صالحة للاستهلاك من قبل الإنسان نفايات غير مستردة، مما يجعلها مادة قيّمة لإنتاج الغاز الحيوي والتقنيات المعتمدة لتحقيق أفضل النتائج من حيث الجودة. بفضل العمليات التكنولوجية

توليد الميثان هو التحلل البيولوجي للمواد العضوية باستخدام نشاط البكتيريا المثانية (الكائنات الحية الدقيقة) في البيئة اللاهوائية. من خلال تركيب نموذج أولي للهضم على مستوى المختبر، أخذنا في الاعتبار في هذه الاختبارات الكميات المثلى من الغاز الحيوي التي تنتجها كل عينة تم اختبارها. تمت تجربتنا في ظل ظروف مضبوطة وتم تدوين الملاحظات يوميًا لمدة 60 يومًا. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن حجم الغاز الحيوي المنتج هو 1449 مل من الغاز الحيوي من العينة غير المعالجة و2817.5 مل من العينة المعالجة، وتمكننا من الحصول على مصدر طاقة ينعكس بواسطة لهب ملامس للنار. في الختام، تظهر نتائج هذا البحث بوضوح أن الحديث عن المواد العضوية الموجودة في النفايات المعالجة قد أدى إلى أداء جيد.

الكلمات المفتاحية: نوى التمر، الهضم اللاهوائي. الغاز الحيوي والطاقات المتجددة .

Table des matières

| | Page |
|-----------------------------------|-------------|
| Dédicace..... | i |
| Remerciement..... | iii |
| Résumé..... | iv |
| Abstract..... | v |
| ملخص..... | vi |
| Liste des tableaux..... | xi |
| Liste des figures..... | Xii |
| Liste des photos..... | xiii |
| Liste des abréviations..... | Xiv |
| Introduction Générale..... | 1 |

Partie bibliographique

Chapitre I: Palmier dattier, dattes et noyaux des dattes

| | |
|---|----|
| I.1. Introduction..... | 6 |
| I.2. Origine du mot <i>Phoenix dactylifera</i> | 6 |
| I.3. Origine de la culture..... | 6 |
| I.4. Exigences écologiques et morphologie du palmier dattier..... | 7 |
| I.5. Botanique de palmier dattier..... | 8 |
| I.6. Situation de la culture du palmier dattier..... | 8 |
| I.6.1 En Algérie..... | 8 |
| I.6.2. En Adrar..... | 9 |
| I.7. Les fruits (dattes)..... | 10 |
| I.7.1. Définition et Aspect botanique des dattes..... | 10 |
| I.7.2. Forme et les stades de développement de la datte..... | 10 |
| I.7.2.1 Forme de la datte..... | 10 |
| I.7.2.2 Stades de développement de la datte..... | 11 |
| I.7.3. Les variétés des dattes..... | 12 |

| | |
|--|----|
| I.7.4. La composition de la datte..... | 12 |
| I.7.5. Classification des dattes..... | 12 |
| I.7.6. Production des dattes dans le monde et en Algérie..... | 13 |
| I.7.7. Les principales dérivées des dattes produites pouvant être élaborées à partir des dattes..... | 14 |
| I.8. Noyau de dattes..... | 14 |
| I.8.1. Définition et description..... | 14 |
| I.8.2. Caractéristiques du noyau de dattes..... | 15 |
| I.8.3. La composition chimique..... | 16 |
| I.8.4. Produits de transformation..... | 17 |
| I.8.4. 1. Aliment de bataille..... | 17 |
| I.8.4.2. Composition cosmétique..... | 17 |
| I.8.4.3. Farine des noyaux de dattes..... | 17 |
| I.8.4.4. Charbon actif..... | 17 |
| I.8.4.5. Boisson des noyaux de dattes (Café)..... | 17 |
| I.8.4.6. Production de bioénergies..... | 18 |
| I.8.4.7. Huile de noyaux de dattes..... | 18 |
| Chapitre II: Généralité sur le biogaz | |
| II.1. Définition du biogaz..... | 21 |
| II.2. La méthanisation..... | 21 |
| II.3. La conversion de la matière organique..... | 22 |
| II.4. Les étapes de la biométhanisation..... | 22 |
| II.4.1. L'hydrolyse..... | 23 |
| II.4.2. L'acidogènes..... | 23 |
| II.4.3. L'acétogenèse..... | 24 |
| II.4.4. La méthanogènes..... | 24 |
| II.5. Les conditions de la réaction de méthanisation..... | 25 |
| II.5.1 Température..... | 26 |

| | |
|--|----|
| II.5.2. Potentiel hydrogène pH | 27 |
| II.5.3 Le rapport Carbone / Azote (C/N)..... | 27 |
| II.5.4 Degré d'humidité..... | 27 |
| II.5.5 Inhibiteurs de la méthanisation..... | 28 |
| II.5.6 La charge organique et le temps de séjour..... | 28 |
| II.6. Composition du biogaz..... | 29 |
| II .7. Propriétés du biogaz..... | 31 |
| II.8. Traitement du biogaz..... | 32 |
| II.9. Les avantages du biogaz..... | 32 |
| II.9.1. Sur le plan social..... | 32 |
| II.9.2. Sur le plan économique..... | 32 |
| II.9.3. Sur le plan environnemental..... | 33 |
| II.10. Utilisation du biogaz..... | 33 |
| II.10.1. Production d'électricité et/ou de chaleur..... | 33 |
| II.10.2. Injection dans le réseau de gaz naturel..... | 33 |
| II.10.3. Utilisation comme biocarburant pour véhicules et pour piles à combustible..... | 33 |
| II.10.4. Valorisation en chaudière..... | 33 |

Partie expérimentale

Chapitre III: Matériels et Méthodes

| | |
|---|----|
| III.1. Matériels utilisés..... | 36 |
| III.1.1. Appareillage..... | 36 |
| III.1.2. Produits chimiques et réactifs..... | 36 |
| III.2. Substrat d'étude..... | 37 |
| III.2.1. Le choix du substrat..... | 37 |
| III.2.2. Prélèvement du substrat..... | 37 |
| III.3. Description du dispositif expérimental | 38 |
| III.3.1. Réacteur de type batch..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| III.3.2. Dispositif de mesure de volume du biogaz..... | 39 |
| III.4. Préparation du substrat de digestion anaérobie..... | 39 |
| III.4.1. Sans prétraitement..... | 39 |
| III.4.2. Prétraitement..... | 40 |
| III.5. Les analyses effectuées..... | 41 |
| III.5.1. Calcule le tonnage des tourteaux des noyaux des dattes..... | 41 |
| III.5.2. Les paramètre de détermination du bilan de matière..... | 42 |
| III.5.2.1. Détermination de la matière sèche..... | 42 |
| III.5.2.2. Mesure de la teneur en matière organique..... | 43 |
| III.5.3 Mesure du pH..... | 44 |
| III.5.4. Paramètres suivis durant la digestion anaérobie..... | 44 |
| III.5.4.1. Paramètres du fonctionnement..... | 45 |
| III.5.4.1. Paramètres du d'épuration..... | 46 |
| Chapitre IV: Résultats et Discussion | |
| IV.1 Caractérisation du substrat utilisé..... | 53 |
| IV.2 Evolution des paramètres de fonctionnement..... | 53 |
| IV.2 .1 Évolution du pH..... | 53 |
| IV.2.2 Evolution du volume de biogaz : filtre..... | 55 |
| IV.3 Évolution des paramètres d'épuration..... | 56 |
| IV.3.1 L'évolution des acides gras volatils..... | 56 |
| IV.3.2 Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)..... | 58 |
| Conclusion et Perspectives..... | 61 |
| Références bibliographiques..... | 64 |

Liste des tableaux

| | Titre | Page |
|-----------------------|--|-------------|
| Tableau I.1: | Inventaire variétal (cultivar) dans les trois régions phoenicicoles d'Algérie..... | 9 |
| Tableau I.2: | Composition de la pulpe de datte fraîche Deglet-Nour..... | 12 |
| Tableau I.3: | La composition chimique de noyau de la datte..... | 16 |
| Tableau II.1: | La biodégradabilité théorique des lisiers..... | 26 |
| Tableau II.2: | Proportion de H ₂ S selon le type de substrat..... | 26 |
| Tableau II.3: | La composition du méthane..... | 30 |
| Tableau II.4: | La composition du biogaz selon ses origines..... | 31 |
| Tableau II.5: | Techniques de purification du biogaz..... | 32 |
| Tableau III.1: | Propriétés et caractéristique des produits utilisés..... | 36 |
| Tableau III.2: | Production des dattes dans la région d'Adrar (2014 à 2020)..... | 37 |
| Tableau IV.1: | Caractéristiques des substrats avant la fermentation | 53 |

Liste des figures

| | Titre | Page |
|----------------------|--|-------------|
| Figure I.1: | La morphologie de palmier dattier..... | 7 |
| Figure I.2: | Datte entière (à gauche) et coupe longitudinale (à droite). Variété Ahartean..... | 10 |
| Figure I.3: | Stades d'évolution des dattes..... | 11 |
| Figure I.4: | Les principaux pays producteurs de dattes en quantité moyenne (2009-2013)..... | 13 |
| Figure I.5: | Noyau de datte (à gauche et à droite) du palmier dattier..... | 15 |
| Figure I.6: | Section longitudinale de noyau de datte..... | 15 |
| Figure II.1: | Schéma global du bilan de la méthanisation..... | 22 |
| Figure II.2: | Schéma simplifié des principales étapes de la digestion anaérobie..... | 23 |
| Figure II.3: | Les différentes étapes de la méthanisation..... | 25 |
| Figure II.4: | Production de biogaz en fonction de la température..... | 26 |
| Figure II.5: | Influence de la charge organique et le temps de séjour sur la production de biogaz..... | 29 |
| Figure III.1: | Schéma du dispositif de mesure du volume biogaz..... | 39 |
| Figure III.2: | Organigramme de l'étude sans prétraitement | 51 |
| Figure III.3: | Organigramme de l'étude avec prétraitement..... | 51 |
| Figure IV.1: | Evolution du volume de biogaz en fonction de temps pour le digesteur sans prétraitement..... | 53 |
| Figure IV.2: | Évolution du pH en fonction de temps pour le digesteur prétraitement... | 53 |
| Figure IV.3: | Evolution du volume de biogaz en fonction de temps pour le digesteur sans prétraitement..... | 55 |
| Figure IV.4: | Evolution du volume de biogaz en fonction de temps pour le digesteur prétraitement..... | 56 |
| Figure IV.5: | Variation de rapport AGV/TAC pour le digesteur sans prétraitement... | 57 |
| Figure IV.6: | Variation de rapport AGV/TAC pour le digesteur prétraitement..... | 58 |
| Figure IV.7: | Variation la DCO pour le digesteur sans prétraitement..... | 58 |
| Figure IV.8: | Variation la DCO pour le digesteur prétraitement..... | 59 |

Liste des Photos

| | Titre | Page |
|----------------------|---|-------------|
| Photo I.1: | Biodiesel produit à partir d'huile de noyaux de dattes..... | 18 |
| Photo I.2: | Huile de noyau de datte..... | 19 |
| Photo III.1: | Bioréacteur type batch..... | 38 |
| Photo III.2: | Bain marie chauffer..... | 40 |
| Photo III.3: | Four à moufle..... | 43 |
| Photo III.4: | Dispositif de mesure de pH (pH mètre)..... | 44 |
| Photo III.5: | Mesure de volume de biogaz..... | 46 |
| Photo III.6: | La centrifugation..... | 47 |
| Photo III.7: | Thermo-réacteur..... | 47 |
| Photo III.8: | L'ajoute de féroïen..... | 48 |
| Photo III.9: | Titration avec sel Mohr jusqu'à coloration..... | 48 |
| Photo III.10: | L'ajoute d'acide sulfurique..... | 49 |
| Photo III.11: | Mesure de pH..... | 50 |
| Photo III.12: | L'ébullition de liquide sur la plaque chauffante..... | 50 |

Liste des abréviations

AD : Digestion Anaérobie

AGV : Acides gras volatils

CACI : Chambre Algérienne de commerce et d'Industrie

C/N : Carbone / Azote

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DSA : Direction des Services Agricole

G.E.S: Gaz à effet de serre.

Kg : Kilogramme

KWh : Kilowattheure

m³ : Mètre cube

mg : Milligramme

MO : Matière Organique.

Nm³: Nano Mètre cube

ISO: Organisation Internationale de Normalisation

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieure

pH : Potentiel hydrogène

ONU : Organisation des Nations Unies

O₂/L : Oxygène /litre.

TAC : Titre alcalin complet

°C : Degré Celsius

% : Pourcentage

Introduction générale

Introduction générale

Le siècle dernier a connu un accroissement démographique exceptionnel ; la population a été multipliée par six, et au rythme de croissance actuelle, les prévisionnistes de l'ONU tablent sur un doublement de la population mondiale d'ici à 2050. Cet essor démographique s'est accompagné d'un fort développement économique qui, faute d'une gestion réfléchie des ressources, a marqué durablement l'environnement. Les effets des activités humaines sont visibles à plusieurs niveaux ; épuisement des ressources naturelles, érosion de la biodiversité, augmentation de la pollution, réchauffement climatique (Zegnoui, 2010).

Pour cela les énergies renouvelables apparaissent à nos jours et à long terme comme la solution adéquate qui couvre ce besoin énergétique en diminuant l'inconvénient majeur émis par les énergies fossiles (Bounaceur, 2015). Elles sont devenues une forme d'énergie indispensable par leur souplesse, la simplicité d'utilisation et la multiplicité des domaines d'activités ; en effet, elles offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoire (Kaabeche, 2006).

En ce qui concerne notre pays : l'Algérie, l'enjeu du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies permettront de plus en plus de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, de l'habitat, de la santé, de l'éducation puis à long terme, de l'industrie

Les bioénergies constituent une réelle opportunité pour répondre à nos besoins énergétiques qui ne cessent de croître. Elles sont considérées comme une voie prometteuse pour les énergies renouvelables surtout que les énergies fossiles commencent à se raréfier.

D'autre part, la transformation des produits végétaux a toujours eu pour objectif de prolonger la durée de consommation de ces aliments au-delà de sa saison et de profiter ainsi toute l'année de ses qualités nutritionnelles (Chaira *et al.*, 2007).

Dans les temps modernes, les concentrations sociales, l'intensification des activités industrielles, lancement de nouveaux produits consommables ont complètement modifié la gestion des déchets. Les résidus s'accumulent, et même lorsqu'ils sont biodégradables, ils

sont rejetés en quantité telle que les mécanismes naturels de résorption, métabolisation et fermentation, sont profondément perturbés.

L'Algérie souffre du problème de la gestion des déchets ménagers à cause de l'augmentation de nombre des habitats et leurs consommations d'une part, et la mauvaise organisation et planification des villes d'autre part. La catégorie de déchets ménagers n'est pas la plus dangereuse, mais c'est la plus abondante, et chacun de nous est concerné. Elle augmente suivant la croissance de la population et selon son mode de consommation. Cette situation d'augmentation permanente fait de la gestion des déchets ménagers un sujet d'actualité qui ne peut attendre, car chaque jour et selon Agence Nationale des Déchets (AND), chaque habitant Algérien produit en moyenne 0.98 kg de déchet. En 2010, 10 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés avaient été produit par la population algérienne (Ferhi, 2013), 13.5 millions en 2013 (Bouzine, 2014). De nombreuses études ont démontré que ces déchets, riches en matière organique étaient des produits nobles et constituaient de nouvelles matières premières pour de nombreuses industries (Kaidi et Touzi, 2001).

La phœniciculture est le pivot central autour duquel s'articule la vie dans les régions sahariennes. Elle revêt une grande importance socioéconomique et environnementale dans de nombreux pays (Dubost, 1990). Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est la plus importante culture des zones arides et semi-arides. C'est un arbre d'un grand intérêt en raison de sa productivité élevée, de la qualité nutritive de ses fruits très recherchés et de ses facultés d'adaptation aux régions sahariennes. En plus de ses rôles écologique et social (SEDRA, 2003). L'Algérie est classée parmi les principaux pays producteurs de dattes (4^e rang mondial avec 14 % de la production mondiale) (Ministère du Commerce, 2017).

Par ailleurs, la région d'Adrar produit annuellement un tonnage important de dattes, environ 936 mille quintaux par an (DSA-Adrar, 2020).

De nombreux travaux de recherche sont consacrés à la valorisation du noyau de dattes sous différentes formes : charbon actif (Girgis *et al.*, 2002 ; El Nemr *et al.*, 2007; Alhamed *et al.*, 2009), supplément en alimentation de bétail (Hussein et Alhadrami, 2003), préparation de l'acide citrique et de protéines (Abou-Zeid *et al.*, 1983), en médecine traditionnelle pour ses propriétés antimicrobienne et antivirale (Ali *et al.*, 1999; Hamada *et al.*, 2002), (Sabah

et al., 2007), Valorisation des noyaux de dattes par production de bioénergie dans la région d'Adrar (Benmahdi et Mebarki, 2019).

Ce travail de fin d'étude de master entre dans le cadre de la valorisation des résidu des noyaux des dattes (tourteaux) disponible localement avec un tonnage important et maîtrise des techniques de transformation et aussi à l'objet de la diversification des sources d'énergies renouvelables.

Ce mémoire comporte deux parties contenant 04 chapitres:

La première partie de ce mémoire présente une synthèse bibliographique divisée en deux chapitres. Le premier chapitre rapporte des données générales sur le palmier dattier, les date et noyaux des dattes. Le deuxième chapitre porte sur le biogaz, ce chapitre présente le biogaz, production de biogaz les avantages et leur utilisation dans divers domaines.

La deuxième partie est divisée en deux chapitres: troisième chapitre rapporte sur les matériels et méthodes expérimentales mis en jeu pour la réalisation de ce travail, et le quatrième chapitre qui va contenir l'ensemble des résultats obtenus et leurs interprétations. Ce travail de mémoire est clôturé par une conclusion générale et des perspectives.

Partie

Bibliographique

Chapitre I:

Palmier dattier, dattes et noyaux

Chapitre I: Palmier dattier, dattes et noyaux des dattes**I.1. Introduction**

Dans le Sahara Algérien, le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est le pilier des écosystèmes oasiens où il permet de limiter les dégâts d'ensablement, joue un rôle protecteur contre le rayonnement solaire intense pour les cultures sous-jacentes (arbres fruitiers, cultures maraîchères et céréales). Par sa présence dans ces zones désertiques, les diverses formes de vies animales et végétales, indispensables pour le maintien et la survie des populations, sont possibles (Belguedj, 2002).

Il a de plus un rôle socioéconomique majeur pour les populations de ces régions pour lesquelles il fournit d'une part un fruit, la dattes dont les qualités alimentaires sont indéniables et qui constitue une source de revenus très appréciables pour plus de 100 000 familles du Sud Algérien avec 9 % des exportations agricoles, d'autre part une multitude de sous-produits (culinaire, artisanal et menuiserie...) (Bennaceur, 1991).

Cette ébauche de synthèse résume la situation de la culture du palmier dattier, ses contraintes et décrit brièvement les recherches menées par les équipes algériennes depuis la prise en charge des problèmes liés au développement de cette espèce (Bouguedoura, 1980).

I.2. Origine du mot *Phoenix dactylifera*

Dans l'étymologie ce terme générique est un nom antique, utilisé par les grecs pour dénommer les plantes de ce genre. Celui-ci dérive de phoenix = phénicien, car ce serait justement les phéniciens qui auraient diffusé cette plante. Le terme spécifique est composé de dactylus = dattes (du grec dactylos) et fero = je portes, soit "porteur de dattes".

I.3. Origine de la culture

Le palmier dattier est cultivé depuis l'antiquité, il est considéré par les Egyptiens comme un symbole de fertilité, utilisé par les Grecs et les Romains comme ornement lors de leurs célébrations triomphales et il représentait le symbole de la paix chez les hébreux et les chrétiens (Robinson et al., 2012). Il est représenté dans les anciennes tablettes assyriennes et babyloniennes, dont le fameux code d'Hammourabi, qui contenait des lois concernant sa culture et sa vente (Jaradat, 2011). La question de l'origine du palmier dattier est discutée et expliquée par le même

auteur à cause de son ancienneté, sa large propagation et l'échange des cultivars dans le monde qui est assuré principalement par les routes caravanières.

I.4. Exigences écologiques et morphologie du palmier dattier

Le palmier dattier c'est une plante qui est capable d'adapter les conditions climatiques et toutes les types de sols, c'est une espèce thermophile qui exige un climat chaud. Il est sensible à l'humidité pendant la période de pollinisation et au cours de la maturation. (Munier, 1973 ; Ozenda, 2004)

Avec une hauteur de 20 à 30 m, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées divisées et longues de 4 à 7 m. L'espèce est dioïque et porte des inflorescences mâles ou femelles, les fleurs femelles aux trois carpelles sont indépendantes, et une seule se développe pour former la datte (le fruit). (Hadjari M et Kadi Hanifi M, 2005)

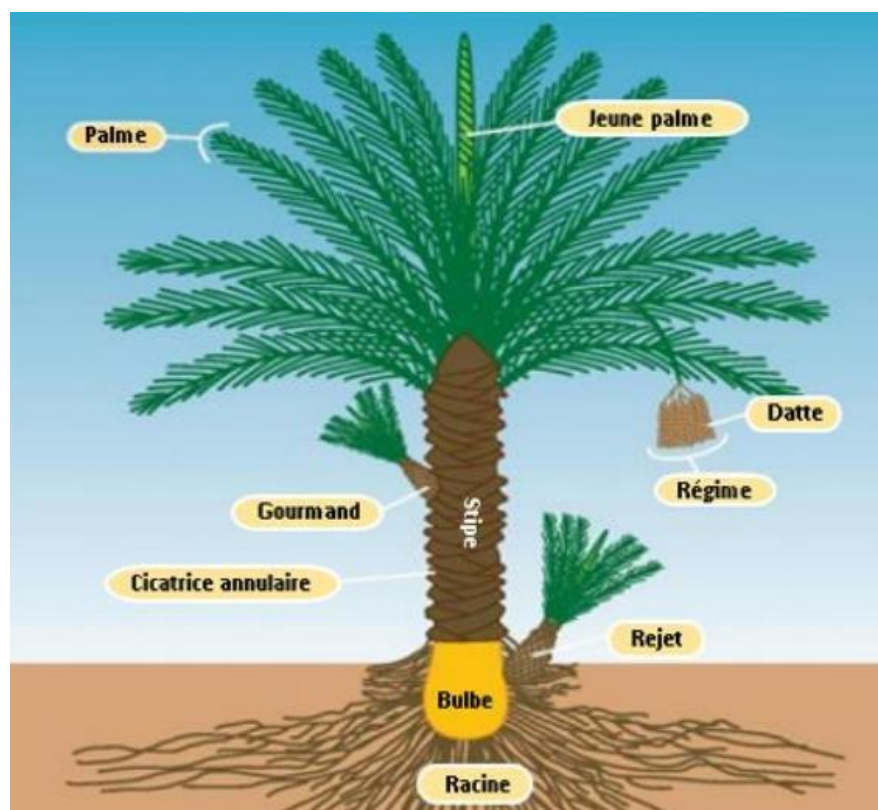


Figure I.1. La morphologie de palmier dattier (CIRAD, 2013).

I.5. Botanique de palmier dattier

I.5.1. Classification

Le palmier dattier est un arbre de la famille des palmacées, sous famille des Coryphoideae. Phoenix est l'un des genres de cette famille, comprenant une Douzaine d'espèces (Chevalier , 1952), dont principalement le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), qui peut être systématiquement classé comme suit (Uhl et Dransfield, 1987)

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Groupe: | Spadiciflora |
| Ordre: | Palmea |
| Famille: | Palmaceae |
| Sous-famille: | Coryphoideae |
| Tribu: | Phoeniceae |
| Genre: | <i>Phoenix</i> |
| Espèce: | <i>Dactylifera</i> L. |

I.6. Situation de la culture du palmier dattier

I.6.1 A Algérie

L'Algérie est un pays phoenicole classé au sixième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture avec 160 000 ha et plus de 2 millions de jardins et sa production annuelle moyenne de dattes de 500 000 tonnes.

Le palmier dattier en Algérie est établi en plusieurs oasis réparties sur le Sud du pays où le climat est chaud et sec (zone saharienne).

Sa culture s'étend depuis la frontière Marocaine à l'ouest jusqu'à la frontière Tuniso-Lybienne à l'est et depuis l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggane (sud-ouest), Tamanrasset (centre) et Djanet (sud-est).

Près d'un millier de cultivars a été inventorié et les trois régions principales de culture se distinguent sur le plan de la diversité génétique. A cette catégorie, il faut ajouter un grand nombre de pieds francs ou « Khalts » qui poussent au hasard dans les oasis et qui représentent une source appréciable pour de nouvelles sélections de cultivars appréciables pour leur datte et pour leur résistance au Bayoud (Bouguedoura et al., 2010).

Tableau I.1. Inventaire variétal (cultivar) dans les trois régions phoenicicoles d'Algérie
(Bouguedoura et al., 2010)

| Région | | Nombre de cultivars | Cultivars les plus courants |
|---------------|-----------|---------------------|---|
| Ouest | Atlas | 70 | Ghares, Asyan, Feggus, |
| | Saoura | 80 | Feggus, Hartan, Cherka, Hmria, Deglet Talmine |
| | Gourara | 230 | Hmira, Tinnaser, Tagerbouch |
| | Touat | 190 | Tgazza, Aghamou, Taqerbuch |
| | Tidikelt | 60 | Tgazza, Taqerbuch, Ceddakh, Aggaz |
| Centre | El-Ménia | 70 | Timjuhart, Ghars, Timedwel |
| | M'Zab | 140 | Azerza, Ghars, Deglet Nour, Taddela |
| Est | Ouargla | 70 | Ghars, Deglet Nour, Degla Beida |
| | Oued Righ | 130 | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida |
| | Souf | 70 | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla |
| | Zibans | 140 | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla |
| | Aures | 220 | Buzrur, Alig, Buhles, Mich Degla |
| | Tassili | 180 | Tanghimen, Tabanist, Khadaji |

I.6.2. En Adrar

Couvrant une superficie de 427.968km², Adrar se subdivise en 04 régions : le Gourara, le Touat et le Tidikelt et Tanezrouft. A l'exception de Tanezrouft, Adrar est une région à vocation agricole principalement phoenicicole avec 294 ksar. Dans les palmeraies, le palmier dattier y constitue le pivot de tout l'écosystème oasien. Un système oasien traditionnel caractérisé par une agriculture d'autosubsistance basée sur la phoeniculture, donc la diversité variétale du palmier dattier y est importante. Les dattes dites communes, ont une faible valeur marchande et sont destinées à l'autoconsommation familiale ou à l'échange vers l'Afrique sub-saharienne à travers un troc frontalier avec le Mali et le Niger. La région du Touat à elle seule compte environ plus de 195 cultivars (Bahiani, 2009)

I.7. Les fruits (dattes)

I.7.1. Définition et Aspect botanique des dattes :

Les dattes, fruit du palmier dattier, est une baie avec une forme soit allongée, oblongue ou arrondie, (Espiard, 2002) ses dimensions varient selon les variétés : de 2 à 8cm de longueur et d'un poids de 2 à 8g (Djerbi, 1994), elle constituée d'une partie dure non comestible « la **graine** ou **noyau** » et d'une partie comestible « pulpe ou chair » (Mansouri et al., 2005).

La partie comestible des dattes comporte :

- ✓ **L'épicarpe ou peau** : Une enveloppe fine cellulosique ;
- ✓ **Le mésocarpe** : Plus ou moins charnu et de consistance variable selon la teneur en sucres, présentant une zone périphérique de couleur plus soutenue et de texture compacte, et une zone interne de teinte plus claire et de texture fibreuse ;
- ✓ **L'endocarpe** : De teinte plus claire ; réduit à une membrane parcheminée entourant la graine. L'ensemble de péricarpe, mésocarpe et l'endocarpe sont confondus sous l'appellation de chair ou pulpe (Figure 1.2) (Peyron, 2000).

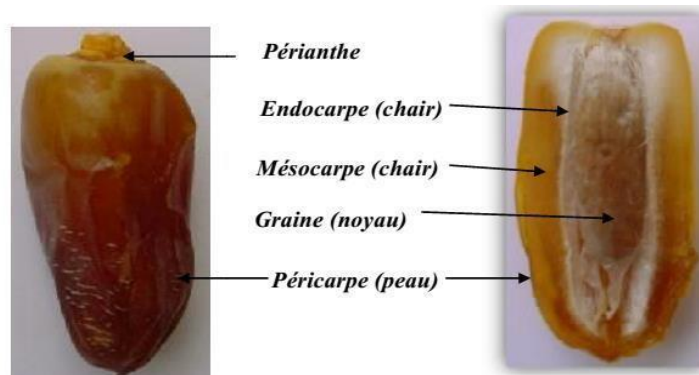


Figure 1.1. Datte entière (à gauche) et coupe longitudinale (à droite).

Variété Ahartean (Boulal, 2017).

I.7.2. Forme et les stades de développement de la datte

I.7.2.1 Forme de la datte

Le poids, les dimensions, la forme et la couleur de la datte varient selon les cultivars et les conditions de culture (Bessas, 2008)

- ✓ Leur poids : de quelques grammes à plus de 50 grammes'

- ✓ Leur longueur : très variable, de là 18 centimètres'
- ✓ La couleur peut être jaune plus au moins claire, jaune ambré, brun plus au moins prononcé, rouge ou noir.
- ✓ La consistance constitue aussi une caractéristique du cultivar ; la datte peut être molle, demi-molle, demi-sèche et sèche, la chair des dattes dures a un aspect farineux.

I.7.2.2 Stades de développement de la datte

Après la pollinisation, le fruit se forme (nouaison), Le fruit se développe en changeant de taille, de couleur, d'aspect et de consistance, jusqu'au stade Tmar où le fruit est mûr. En même temps sa composition évolue (Harrak et Boujnah, 2012)

Les différents stades en Algérie peuvent être définis comme suite : (Djerbi, 1994)

Loulou: Il commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaines

A ce stade le fruit est entièrement recouvert par le péricarpe et se caractérise par une croissance lente.

Khalal: Il se caractérise par le couleur vert et un grossissement rapide de fruit ainsi qu'une augmentation des concentrations en amidon et une légère augmentation des sucres totaux et de la matière sèche. Ce stade dure neuf à quatorze semaines.

Besr (bser): Stade de développement de la datte durant lequel le fruit prend sa forme finale.

Martouba: Catégorie de datte Deglet-Nour obtenue après triage.

Tamr (Tmar): Stade où le fruit est mur complètement.



Figure I.2. Stades d'évolution des dattes

(Hassani et Bencheikh, 2014)

I.7.3. Les variétés des dattes

Les variétés de dattes sont très nombreuses, seulement quelques-unes ont une importance commerciale. Elles sont très nombreuses et se différencient par leurs saveurs, consistances, formes, couleurs, poids et dimensions (Buelguedj, 2001).

Les principales variétés cultivées en Algérie sont :

a. Deglet-Nour

Variété sociale et commerciale par excellence. C'est une datte demi-molle, considérée comme étant la meilleure variété de datte du fait de son aspect, son onctuosité et sa saveur.

B. Variétés communes

Ces variétés sont de moindre importance économique par rapport à Deglet-Nour. Les plus répandues sont : Ghars, Degla-Beïda et Mech-Degla.

I.7.4. La composition de la datte

La chair de la datte est composée de sucre, d'eau, de cellulose d'éléments minéraux et de produits divers : protides, lipides, pectines, tanins, vitamines, produits aromatiquesetc.

Tableau I.2. Composition de la pulpe de datte fraîche Deglet-Nour
(Devshony et al., 1992)

| Constituants | Poids à l'état frais (%) |
|---------------|--------------------------|
| Eau | 23 |
| Protéines | 1.5 |
| Sucres totaux | 72 |
| Saccharose | 36.1 |
| Glucose | 10.4 |
| Fructose | 9.6 |

I.7.5. Classification des dattes

Les dattes sont regroupées en trois catégories suivant leur consistance (Ghazi et Sahraoui, 2005). D'après (Boukhiar, 2009) la classification de la datte selon leur consistance à maturité et la texture de fruits.

- **Les dattes molles** : taux d'humidité supérieur ou égal à 30%, elles sont à base de sucres invertis (fructose, glucose) tel que Ghars, Hamraia, Litima.....etc.
- **Les dattes demi-molles** : de 20 à 30% d'humidité, elles occupent une position Intermédiaire à l'exception de la Deglet-Nour, datte à base de saccharose par excellence (Espiard, 2002).
- **Les dattes sèches** : dures, avec moins de 20% d'humidité, riche en saccharose. Elles ont une texture farineuse telle que Meche-Degla, Degla Beida.....etc (Belguedj, 2002).

I.7.6. Production des dattes dans le monde et en Algérie

Selon CACI la production mondiale annuelle des dattes dépasse 7, 416,000 Tonnes dans 34 pays parmi les plus importants : l'Egypte, l'Iran, l'Arabie Saoudite, les Emirats arabes, l'Irak, le Pakistan et l'Algérie. L'Algérie classé le quatrième producteur mondial de dattes avec une production annuelle plus de 721.000 tonnes (CACI., 2015).



Figure I.3. Les principaux pays producteurs de dattes en quantité moyenne (2009-2013) (CACI, 2015)

I.7.7. Les principales dérivées des dattes produites pouvant être élaborées à partir des dattes (ITADS Biskra, 2010)

| | | | | |
|--|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Produits stratégiques• Rendements intéressants• Dattes utilisées sèches ou molles• Vinaigre : produit artisanal ou industriel | <ul style="list-style-type: none">• Produit artisanal• Dattes utilisées sèches ou molles• Utilisations diversifiées surtout en médecine traditionnelle | <ul style="list-style-type: none">• Alimentation des adultes• Alimentation infantile• Complément pour sportifs• Pâtisseries et préparations culinaires diverses. | <ul style="list-style-type: none">• Hchef et résidus de la transformation• Dattes infestées• Dattes non consommées et non transformées• Noyaux | <ul style="list-style-type: none">• Produit stratégique• Produit industriel• Dattes utilisées sèches ou molles• Utilisations en industries alimentaires et pharmaceutiques |
|--|--|---|---|---|

I.8. Noyau de dattes

Les noyaux de palmier dattier sont des déchets de beaucoup d'industries de sa transformation, ils sont dans la plupart des pays producteurs de dattes jetés ou partiellement incorporés dans l'alimentation animale, Leur valorisation dans l'alimentation humaine reste très faiblement explorée en dehors de quelques applications traditionnelles (Khali , Boussena et Boutakerbet , 2013).

I.8.1. Définition et description

Le noyau de datte ou encore appelé graine, est de forme allongée et de grosseur variable, son poids moyen est environ d'un gramme, et représente 7 à 30% du poids de la datte (Adrar, 2016.). Ce dernier est entouré d'un endocarpe parcheminé, généralement lisse ou pourvu de protubérances latérales en arêtes ou ailettes, avec un sillon ventral, l'embryon est dorsal, sa consistance est dure et cornée (Dammak et al., 2007). Il possède un albumen (endosperme) dur et corné dont l'embryon dorsal est toujours très petit par rapport à l'albumen de 2 à 3 mm (Darleen et al., 1985)

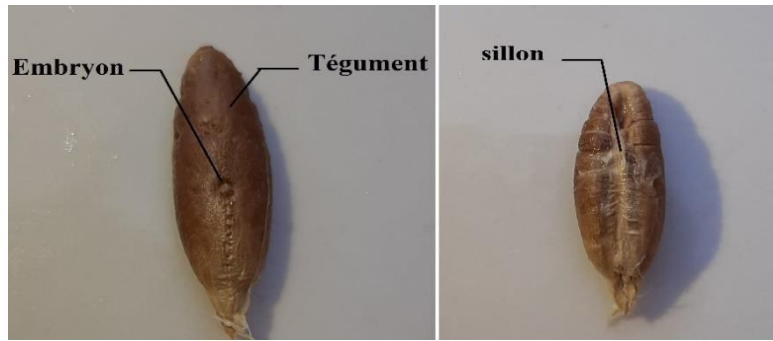


Figure I.4. Noyau de datte (à gauche et à droite) du palmier dattier
(Adrar, 2020)



Figure I.5. Section longitudinale de noyau de datte (Université Sorbonne)

I.8.2. Caractéristiques du noyau de dattes

Selon (Acourene et Tama, 1997) une différence significative entre arbres a été relevée sur le diamètre, le poids, la longueur du noyau même si les palmiers pris en compte proviennent d'une même exploitation.

De plus, ces différences peuvent être induites par les types de pollen utilisés par les phoeniculteurs (Khalifa, 1980). Ce dernier auteur a démontré l'effet significatif des pollens sur les caractères morphologiques du noyau.

Les études effectuées par (Acourene et Tama, 1997) ont montré que le poids du noyau de dattes algériennes (Ziban) peut varier d'un cultivar à un autre selon différents paramètres :

Poids : 0,6 – 1,69 g, diamètre : 0,58 – 1 cm et longueur : 2,9 – 3,15 cm.

I.8.3. La composition chimique

Le poids moyen du noyau de dattes s'étend entre 10% et 15% du poids de datte. Les noyaux de dattes sont des sous-produits issus de plusieurs procédés de transformation des dattes (dattes dénoyautés, pâte de dattes, sirop de dattes, jus de dattes, ...). Il est riche en sucre, en minéraux, en particulier le fer et en lipides (Nutr, 2015).

Tableau I.3. La composition chimique de noyau de la datte (Billek H et Announ N, 2013)

| Composition chimique | Teneur | Références |
|----------------------------------|-----------------|---|
| Teneur en eau en % | 7 à 19 | Boudechiche et <i>al.</i> , 2009 |
| Matière protéique (shahal) (%MS) | 2,29 | I-Farsi et <i>al.</i> , 2007 (variété shahal) |
| Matière grasse en % | 13,2 | Djouab, 2007 ;Amellal, 2008 |
| Sucres en % | 4,4 | Lecheb, 2007 |
| Fibres en % | 70 | Almana et <i>al.</i> , 1994 |
| Polyphénols (%MS) | 0,0215 à 0,0526 | Besbes et <i>al.</i> , 2004 |
| Minéraux (%MS) | | Devshony et <i>al.</i> , 1992 |
| • K | 25,4-28,9 | |
| • Ca | 1,35-1,87 | |
| • Mg | - | |
| • P | 6,74-9,36 | |
| • Na | 0,38-1,48 | |
| • Fe | 0,22-1,68 | |
| • Zn | - | |
| • Cu | 0,07-0,2 | |
| • Mn | 0,06-0,09 | |

I.8.4. Produits de transformation

I.8.4. 1. Aliment de bétail

Les noyaux de dattes constituent des sous-produits intéressants peuvent être utilisées comme aliment du bétail (Daoudi, 2013; Ben Abes, 2011;Chahma et *al.*,Djilali, 2012;Noui, 2017).

La valeur fourragère d'un kilogramme de noyaux es équivalente à celle d'un kilogramme d'orge (Harrak et Boujnah, 2012).

I.8.4.2. Composition cosmétique

La présente invention se rapporte à l'utilisation non-thérapeutique d'une quantité efficace d'un extrait de noyaux de dattes, sous forme d'une composition cosmétique, pour traiter les manifestations cutanées du vieillissement, pour diminuer les rides et/ou les ridules, ou pour lisser la peau. (Jauve, 2006)

I.8.4.3. Farine des noyaux de dattes

La valorisation des noyaux de dattes par incorporation dans la farine de blé tendre commercial a été réalisée. Les noyaux séchés et broyés en un mélange très fin, sont incorporés à la farine de blé aux taux de 5%, 10%, 15% et 20% (Khali et al., 2015).

I.8.4.4. Charbon actif

Des industriels à trouver les moyens biotechniques pour réduire si non valoriser les résidus ligno-cellulosiques : noyaux des dattes, noyaux d'olive, de pêche, les coques d'amandes, etc. les fabricants ont trouvé des applications dans la production de charbons actifs (Cherifi , 2007)

I.8.4.5. Boisson des noyaux de dattes (Café)

Les noyaux de dattes ont été utilisés après torréfaction et broyage, comme un succédané du café et donne une décoction d'une saveur et d'un arôme agréables, il est aussi utilisé depuis longtemps dans le monde arabe, un mélange de poudre des noyaux de dattes grillées de manière semblable avec la poudre du café comme une boisson chaude, cette dernière permet de réduire le taux de caféine (Rahman et al., 2007).

I.8.4.6. Production de bioénergies

Selon **Benmehdi et Mebarki (2019)** l'extraction des huiles des noyaux de dattes par solvant a donné un rendement de 4% à 5%, après la réaction de l'estérification et transestérification, le biodiesel a été obtenu avec un rendement de 91% et ses propriétés sont proches des normes reconnues par rapport aux études précédentes. Le plus important dans cette

étude est que le biodiesel obtenu a moins de viscosité que le biodiesel obtenu à partir d'autres sources végétales.



Photo I.1. Biodiesel produit à partir d'huile de noyaux de dattes

(Harrak et Boujnah , 2012)

I.8.4.7. Huile de noyaux de dattes

Selon (Harrak et Boujnah, 2012) montre que l'huile de noyaux de dattes caractérisées par sa résistance aux rayons UVA et UVB responsables des dommages cellulaires. Cette propriété serait intéressante à étudier pour un éventuel emploi futur comme crèmes solaires.



Photo I.2. Huile de noyau de datte
(Benmehdi et Mebarki, 2019).

Note importante

Notre étude s'inscrit dans la continuité de l'étude précédente dans le but de réévaluer (pour la deuxième fois) les déchets résiduels après consommation d'huiles du noyau de dattes.

Chapitre II:

Généralité sur le biogaz

Chapitre II: Généralité sur le biogaz**II.1. Définition du biogaz**

Le biogaz est un gaz combustible renouvelable issu de la dégradation des matières organiques biodégradables de différentes catégories (déchets verts, déchets ménagers fermentescibles, des boues de stations, des effluents d'élevage et de coproduits agricoles, des cultures énergétiques agricoles, etc.) (Sigot, 2014). Il est composé majoritairement de méthane et de dioxyde de carbone et pourrait être valorisé, après son épuration, pour la production de biocarburant, d'électricité et/ou de chaleur (Saber, 2013).

La méthanisation ou bien La production de biogaz est un processus de digestion en anaérobie pouvant répondre à un double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane et de stabilisation des déchets organiques. Le biogaz est utilisé comme combustible et digestat, produit solide de la digestion anaérobie, est utilisable comme fertilisant sur les terres agricoles (Manzekele, 2008)

II.2. La méthanisation

La méthanisation, ou digestion en anaérobie, est un processus basé sur la dégradation de la matière organique par des micro-organismes en absence d'oxygène et de lumière dans des cuves hermétiques (digesteurs) en milieu sec ou liquide (Dahou, 2018). Cette transformation de la matière donne des produits résultant de la dégradation et peuvent être classés en deux catégories, le biogaz et le digestat. - le biogaz composé majoritairement de méthane (CH_4 , 50 à 70%), de dioxyde carbone (CO_2 , 20 à 50%) et d'eau (H_2O). Quelques gaz en traces peuvent également être présents (NH_3 , N_2 , H_2S) (Manzekele, 2008).

Le digestat, produit liquide ou solide composé de matières organiques non dégradées et de minéraux. La méthanisation est un processus de digestion en anaérobie pouvant répondre à un double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane et de stabilisation des déchets organiques. Le biogaz est utilisé comme combustible et digestat, produit solide de la digestion anaérobie, est utilisable comme amendement sur les terres agricoles (Manzekele, 2008).

II.3. La conversion de la matière organique

La mise en œuvre de la méthanisation dans un réacteur a pour but de convertir cette matière, qu'elle soit sous forme soluble ou particulièrement solide en biogaz. A l'entrée du procédé, cette matière est un des composants d'une matrice, qu'elle soit liquide (effluent) ou solide (déchet). Les autres composants de la matrice sont l'eau et les matières minérales.

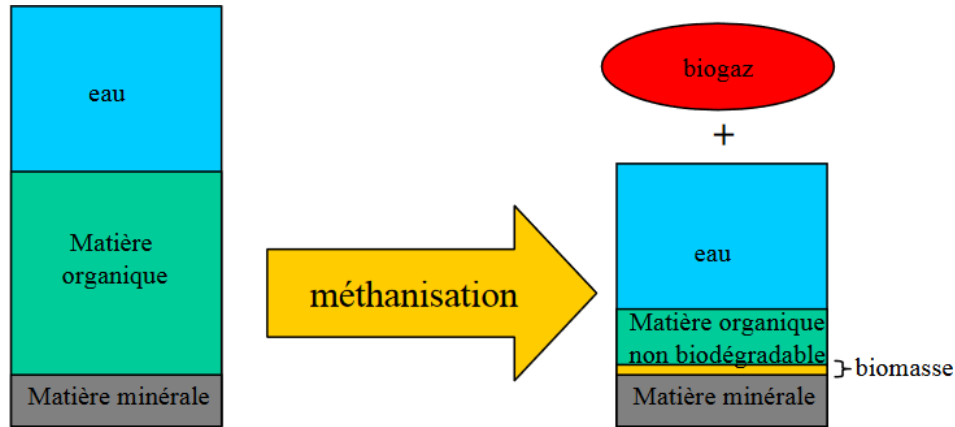


Figure II.1. Schéma global du bilan de la méthanisation (Buffiere et al., 2009).

II.4. Les étapes de la bio méthanisation

Le biogaz est produit durant un processus de digestion anaérobie des substrats organique tel que le fumier des animaux de ferme (vaches, volailles ...), les résidus organiques des stations d'épuration des eaux usées, les déchets organiques ménagers ou même les résidus des cultures agroalimentaires. On peut aussi capter le biogaz dans les centres d'enfouissements techniques après dégradation de la matière organique (Abderezzak, 2011).

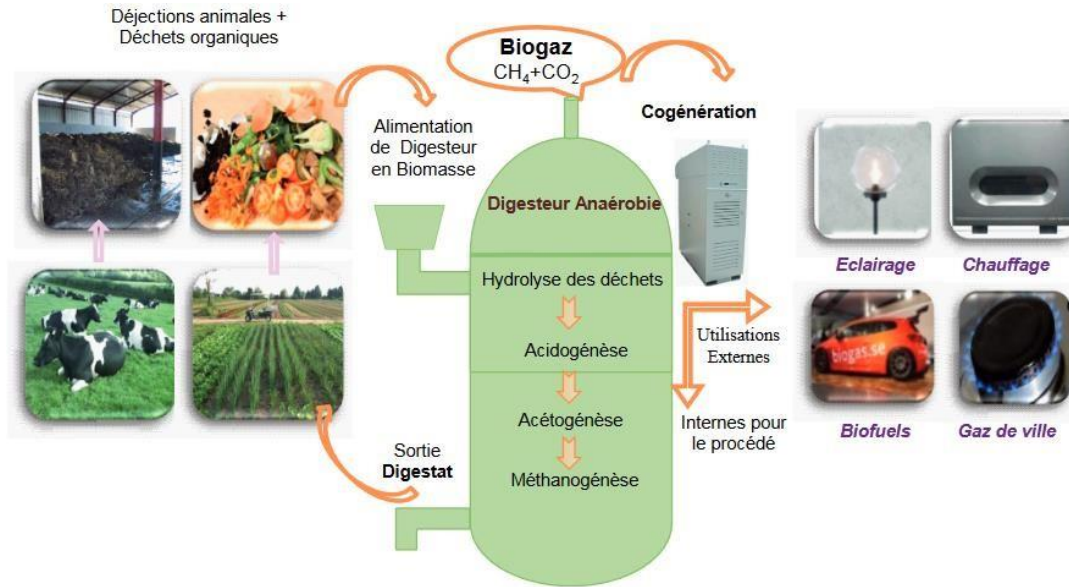


Figure II.2 Schéma simplifié des principales étapes de la digestion anaérobie
(Saber, 2013)

La méthanisation des matières organiques s’effectue en quatre étapes principales sous l’action de différents groupes de micro-organismes, il s’agit donc de :

II.4.1. L’hydrolyse

Cette phase concerne la dégradation de molécules organiques complexes en monomères. Les lipides se dégradent en acides gras et glycérols, les protéines se dégradent en acides aminés, en peptides et en chaînes courtes, les polysaccharides se dégradent en monosaccharides et disaccharides, la cellulose enfin se transforme en glucose et en saccharose (Buffiere et al., 2009 et Damien, 2004).

II.4.2. L’acidogènes

Cette phase, également appelée phase fermentative, transforme les différents monomères issus de l’hydrolyse en acides organiques à courte chaîne (2 à 6 carbones) ou en composés neutres (éthanol) (Buffiere et al., 2009). Il apparaît alors des acétates, des alcools tels l’éthanol, de l’ammoniaque et des acides gras volatils (AGV) comportant de 2 à 5 atomes de carbone.

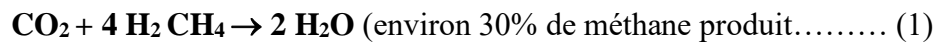
II.4.3. L'acétogenèse

A ce niveau, les micro-organismes transforment les acides gras volatils et les alcools de l'étape précédente en hydrogène, gaz carbonique et acétates (Jain *et al.*, 1990). Sulfure d'hydrogène se forme également lors de cette phase de transformation (Damien, 2004).

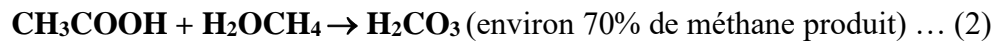
II.4.4. La méthanogènes

Elle représente la dernière étape de la méthanisation ou le méthane apparaît. Les bactéries méthanogènes interviennent pour élaborer le méthane à partir de l'hydrogène, du gaz carbonique et des acétates suivants les deux réactions suivantes (Damien, 2004).

1- De réduction du CO₂ :



2- De décarboxylation de l'acide acétique :



C'est le processus de méthanisation qui se résume en quatre grandes phases se déroulant en même temps dans le méthaniseur : l'hydrolyse, l'acidogènes, l'acétogenèse et la méthanogènes. Celui-ci doit être régulièrement contrôlé, car de nombreux paramètres doivent être réunis pour assurer une transformation optimale de la matière organique (température, pH, taux de charge organique, nutriments, mixage...) ; un équilibre doit être maintenu continuellement par l'exploitant au sein de cette chaîne de dégradation (Kherbouche, 2005).

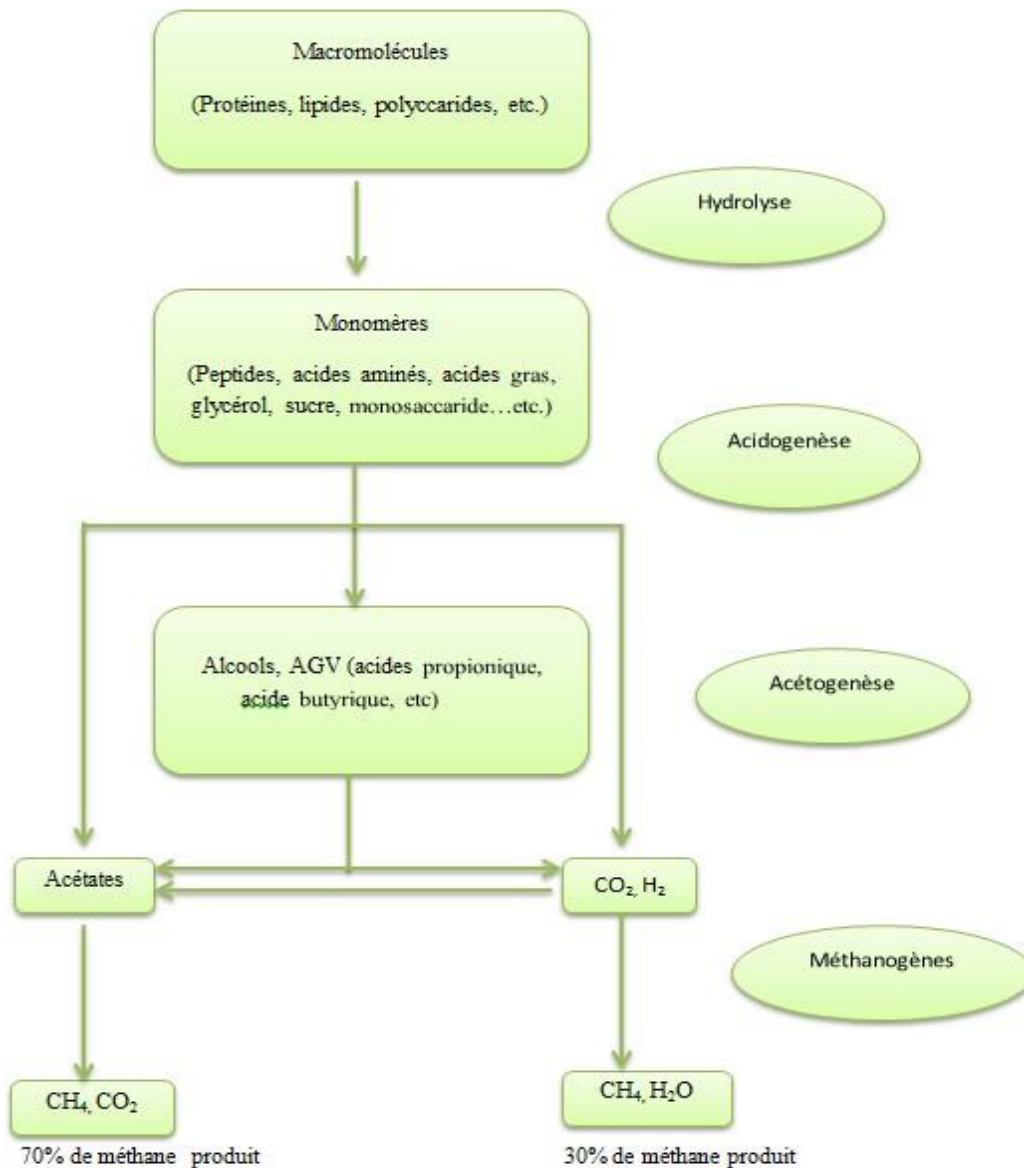


Figure II.3 Les différentes étapes de la méthanisation

(Buffiere et al., 2009).

II.5. Les conditions de la réaction de méthanisation

Plusieurs facteurs interagissent entre eux et influencent la vitesse et l'efficacité de la digestion anaérobie. Les conditions de milieu sont très importantes.

Le substrat : Le type et la composition du substrat influencent directement sur le rendement et la composition de biogaz. Un produit organique ne pourra donc fournir plus que sa composition ne le permette. La biodégradabilité diffère d'un substrat à un autre, et influence directement le potentiel de production de gaz (de La Farge, 1995).

Tableau II.1: la biodégradabilité théorique des lisiers (de La Farge, 1995).

| Substrat | Biodégradation % de MO | Volume m3/kg de MO |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| Lisier volaille | 80 | 0,4 |
| Lisier de bovin | 70 | 0,35 |

Par ailleurs, selon la qualité du substrat, le gaz obtenu sera plus ou moins riche en sulfure d'hydrogène (H₂S), mélangé à l'eau et au dioxyde de carbone, rend le biogaz beaucoup plus corrosif, nécessitant pour certaines utilisations un système de traitement et d'épuration du gaz (Kherbouche, 2005).

Tableau II.2: Proportion de H₂S selon le type de substrat (Kherbouche, 2005).

| Type de substrat | Proportion de H ₂ S dans le biogaz |
|---------------------|---|
| Fumier de bovin | Moins de 0,3% |
| Fientes de volaille | Proche de 1% |

1.5.1 Température

La réaction de méthanisation est globalement accélérée par la chaleur mais, dans le détail, ce mécanisme est plus complexe. Chaque groupe de bactéries a une température de confort différente et, en dehors de ces domaines de températures, il peut avoir une inhibition des réactions. Il existe trois zones de températures pour la méthanisation :

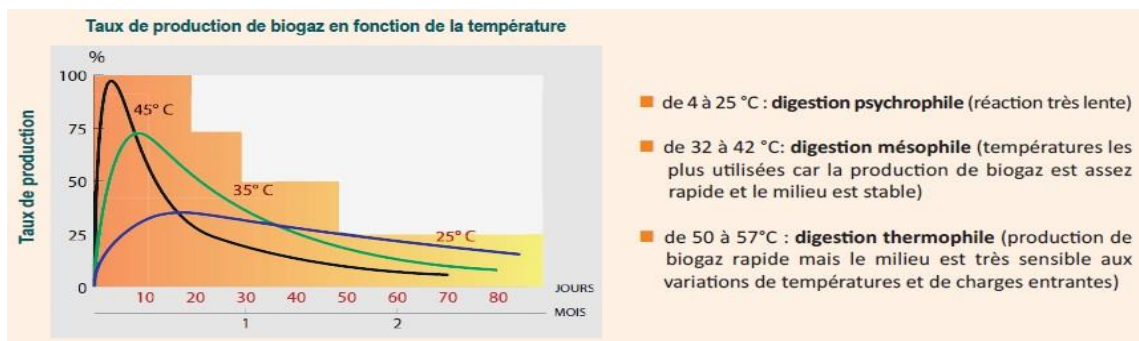


Figure II.4 Production de biogaz en fonction de la température (ADEME, 2010).

II.5.2. Potentiel hydrogène pH

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Comme pour la température, les groupes de bactéries ont des domaines de pH de croissance optimum différents (ADEME, 2010). Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogénèse et à la méthanogénèse. La chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces organismes (Ostrem, 2004) et même des valeurs proches de 6,0 causent souvent un arrêt du procédé (United-Tech, 2017).

La digestion anaérobie est une séquence de réactions, chacune ayant des sous-produits différents, les uns peuvent influencer négativement les autres. Une surproduction des acides volatils par les organismes acidogènes peut mener à une baisse du pH et, conséquemment, à une inhibition de la méthanogénèse. Cela peut être une situation causée par un grand apport de matières fraîches au digesteur. En revanche, une surconsommation des acides pour la formation de méthane peut engendrer une augmentation du pH et un ralentissement de l'acidogénèse (Ostrem, 2004).

II.5.3 Le rapport Carbone / Azote (C/N)

Le rapport C/N est important pour la stabilité du process. Si ce rapport est trop important, le carbone a du mal à être complètement dégradé. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal (Ostrem, 2004). Une augmentation de l'apport en azote peut mener à une production accrue d'ammoniac, ce qui peut nuire aux microorganismes et inactiver la méthanisation (Rapport et al., 2008)

II.5.4 Degré d'humidité

L'humidité a une grande influence sur l'action des bactéries, principalement dans le cas où ces valeurs sont basses. Des études montrent que des taux d'humidité supérieurs à 60 % augmentent la production de gaz, qui atteint un maximum environnant 80 %. Au-delà de cette concentration, la production se stabilise dans ce plateau élevé. Ce principe est utilisé dans quelques lieux d'enfouissement, par la recirculation du lixiviat, pour accélérer la méthanisation des matières putrescibles et pour augmenter la production de biogaz (Price et Cheremisinoff., 1981 ; Yolo, 2008).

II.5.5 Inhibiteurs de la méthanisation

Outre les facteurs physico-chimiques, comme le pH et la température, plusieurs substances peuvent avoir un effet nocif sur la digestion anaérobie. Heureusement, des adaptations de la flore microbienne anaérobie peuvent rendre ces populations résistantes aux substances toxiques et même permettre leur biodégradation (Bernet et Buffière, 2008).

Ammoniac (NH₃) : l'ammoniac en concentrations au-delà de quelques grammes par litre peut inhiber la phase méthanogène de la digestion anaérobie. Ces concentrations de NH₃ peuvent être causées par un apport élevé de matières riches en protéines, comme les restes d'élevage et les déchets agroalimentaires (Bernet et Buffière, 2008). Par contre, une adaptation des microorganismes à des doses plus élevées d'ammoniac, allant jusqu'à 5 g/l, peut être développée naturellement (de La Farge, 1995).

H₂S : des substrats riches en protéines soufrées et en sulfates peuvent mener à une augmentation de la production de H₂S. Il est également toxique pour les microorganismes méthanogènes, en plus d'être corrosif pour les matériaux. La précipitation de certains cations avec les sulfures dissouts peut causer une carence d'éléments essentiels tels le nickel et le cobalt (Bernet et Buffière, 2008).

Substances toxiques: les hydrocarbures aliphatiques chlorés et les acides gras à longue chaîne sont les substances organiques les plus toxiques pour la digestion anaérobie. À propos des éléments inorganiques, les plus toxiques sont les cations comme le sodium (Na⁺), le potassium (K⁺) et les métaux lourds comme le cuivre, le nickel, le zinc et le plomb, en plus du NH₃ et du H₂S (Bernet et Buffière, 2008).

Nutriments: pour un bon fonctionnement des biodigesteurs, en plus des matières organiques, sources de carbone et d'énergie, une concentration adéquate d'autant de macroéléments que de microéléments est fondamentale. Pour les macroéléments, les principaux sont l'azote et le phosphore, tandis que le fer, le cobalt, le nickel et le zinc sont les éléments traces nécessaires (Bernet et Buffière, 2008).

II.5.6 La charge organique et le temps de séjour

La charge organique entrante est un paramètre important. Elle correspond à la masse de substance organique entrante par unité de volume de digesteur et par unité de temps.

Le temps de séjour correspond au temps que le substrat restera théoriquement dans le digesteur. Le temps de séjour est inversement proportionnel à la charge : moins un substrat reste

longtemps dans le digesteur, plus la charge est forte. Ces paramètres vont peser fortement sur le dimensionnement d'une installation (ADEME, 2010).



Figure II.5. Influence de la charge organique et le temps de séjour sur la production de biogaz (ADEME, 2010).

Il faut donc trouver le meilleur compromis entre une production de biogaz maximale et un dimensionnement raisonnable afin de limiter l'investissement. La charge organique est généralement comprise entre 1 et 3 kg de matière organique par m³ de digesteur et par jour pour la méthanisation infiniment mélangée. Une charge organique trop importante peut provoquer une accumulation d'acides dans le digesteur et un arrêt de la réaction (l'acétogénèse ne pourra pas suivre le rythme de l'acidogènes qui sera richement nourrie en matière). A l'inverse, une charge trop faible ne permettra pas aux bactéries de se développer correctement (ADEME 2010).

II.6. Composition du biogaz

La composition du biogaz dépend de plusieurs paramètres et surtout de son origine (compositions du substrat traité). Le biogaz est constitué essentiellement de deux composés en proportion variable selon le substrat traité : le méthane (CH₄) et le gaz carbonique (CO₂) ; ainsi que de quelques traces d'hydrogène (H₂), d'hydrogène sulfuré (H₂S), d'ammoniac (NH₃), d'azote (N₂), d'oxyde de carbone (CO), de dioxygène (O₂), de différents hydrocarbures et d'eau. Ces derniers constituants sont souvent rencontrés mais à des teneurs beaucoup plus faibles (souvent inférieures à 1%) (Dahou,2018).

Tableau II.3. La composition du méthane (Abderezzak, 2011)

| Eléments | Proportions pour 1Nm ³ de biogaz brut |
|---------------------------------------|---|
| Méthane (CH ₄) | 50 – 75 % |
| Dioxyde de Carbone (CO ₂) | 25 – 45 % |
| Vapeur d'eau (H ₂ O) | 2 – 7 % |
| Azote (N ₂) | 0 – 2 % |
| Hydrogène (H ₂) | 0 – 1 % |
| Oxygène (O ₂) | 0 – 2 % |
| Hydrogène sulfuré (H ₂ S) | 0 – 2 % |

Le tableau en dessous montre la composition du biogaz selon ses origines (qualité du substrat traité) (de La Fragge, 1995).

Tableau II.4. La composition du biogaz selon ses origines (de La fragge, 1995)

| Composant | Ordures ménagères | Boues de station d'épuration | Déchet agricoles | Déchet de l'industrie agro-alimentaire |
|--|-------------------|------------------------------|------------------|--|
| CH ₄ % vol | 50-60 | 60-75 | 60-75 | 68 |
| CO ₂ % vol | 38-34 | 33-19 | 33-19 | 26 |
| N ₂ % vol | 5 - 0 | 1-0 | 1-0 | - |
| O ₂ % vol | 1 - 0 | <0.5 | <0.5 | - |
| H ₂ O % vol | 6 à 40°C | 6 à 40°C | 6 à 40°C | 6 à 40°C |
| H ₂ S % vol mg/m ³ | 100-900 | 1000-4000 | 3000- 10000 | 400 |
| NH ₃ % vol mg/m ³ | - | - | 50-100 | - |
| Siloxanes mg/m ³ | 20-250 | Traces | - | - |
| Organochlorés ou Organofluorés mg/m ³ | 100-800 | - | - | - |

II .7. Propriétés du biogaz

Dans les mêmes conditions de température et de pression et à volume égal, le biogaz est plus léger que l'air, sa densité par rapport à l'air est égale à environ 0,7. Le pouvoir calorifique du biogaz dépend de sa richesse en méthane (Tou, Igoud et Touzi, 2001).

Le PCI est le pouvoir calorifique inférieur lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état de vapeur. Le PCI du méthane à 0°C à pression atmosphérique est de 9,94 kWh/m³. Pour

le biogaz, le PCI sera proportionnel à sa teneur en méthane (par exemple, pour un biogaz contenant 70% de méthane, le PCI sera de $9,94 \times 0,7 = 6,96 \text{ kWh/m}^3$) (Fredric ,2019).

II.8. Traitement du biogaz

À la sortie du digesteur, le biogaz renferme, outre le méthane, des quantités appréciables de gaz carbonique et d’hydrogène, des traces d’azote, d’oxyde de carbone, d’hydrogène sulfuré, d’ammoniac ainsi que différents hydrocarbures et de l’eau.

Les techniques de traitements utilisées dépendent de la molécule éliminer. ce sont des techniques physico-chimiques principalement.

Tableau II.5. Techniques de purification du biogaz (Hess, 2007)

| Composés à éliminer | Techniques |
|---------------------|--|
| Eau | Condensation ou cryogénie, absorption sur glycols, tamis moléculaires |
| Organohalogénés | Lavage à l’eau sous pression, adsorption sur charbon actif, ajout de chlorure de fer in-situ, techniques biologiques, micro-aération |
| Souffre | Adsorption sur charbon actif |
| CO ₂ | Lavage à l’eau sous pression, tamis moléculaires, séparation par membrane, adsorption sur des glycols, micro-algues |

II.9. Les avantages du biogaz (Abderezzak, 2011)

II.9.1. Sur le plan social

- La prise de conscience de la société envers une bonne gestion de ses déchets ;
- Les embauches dues aux nouvelles centrales de tri, de collecte des déchets et des centrales de biogaz.

II.9.2. Sur le plan économique

- Minimiser le coût général d’importation des sources d’énergie fossile (pétrole, gaz...) ;
- Réduire le coût du kWh thermique et électrique produit par ce biogaz.

II.9.3. Sur le plan environnemental

- Réduction des émissions des GES ;
- Ralentissement de l’épuisement des ressources énergétiques fossiles.

II.10. Utilisation du biogaz

II.10.1. Production d'électricité et/ou de chaleur

Pour la production de l'électricité et de la chaleur, les moteurs et les turbines de cogénération sont généralement employés (Marchaim, 1994; Bertolini, 2005). Les moteurs sont dotés d'échangeurs thermiques et peuvent atteindre un rendement énergétique global de l'ordre de 80%. Ils nécessitent, cependant, des maintenances plus ou moins lourdes selon les concentrations d'impuretés dans le biogaz. Les turbines sont plus stables aux fluctuations de la charge et tolèrent des faibles proportions en méthane (Saber, 2013).

II.10.2. Injection dans le réseau de gaz naturel

Le biogaz doit répondre aux normes appliquées sur le gaz naturel. Toutes les impuretés présentes dans le biogaz (CO_2 , H_2O , H_2S , composés organohalogénés, etc.), doivent être réduites à des teneurs très faibles (Saber, 2013).

II.10.3. Utilisation comme biocarburant pour véhicules et pour piles à combustible

En plus d'une pureté similaire à celle du gaz naturel, le biogaz nécessite une compression supplémentaire à 200 bars avant son utilisation comme carburant automobile (Saber, 2013), pour les piles à combustible (Sigot, 2014).

II.10.4. Valorisation en chaudière

L'utilisation du biogaz en chaudière est le moyen de valorisation le plus simple et le moins coûteux. Le biogaz peut comporter un faible taux de méthane mais un minimum de 50% est recommandé pour un bon fonctionnement de l'installation. En général, seule une déshydratation du biogaz est nécessaire. La chaleur de combustion peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur ou bien dans des fours de procédés industriels. Par contre, cette chaleur est produite en continu toute l'année, il est donc nécessaire d'avoir une utilisation de chaleur importante et régulière sur l'année (ADEME, 2010).

Partie Expérimentale

Chapitre III :

Matériels et Méthodes

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Matériels utilisés

III.1.1. Appareillage

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Bioréacteur en verre ; • Etuve type Memmert ; • Four à moufle ; • Balance de précision ; • Bioréacteur type batch ; • Dispositif de mesure de pH ; | <ul style="list-style-type: none"> • Bain marie type Memmert ; • Agitateur magnétique RS-1, • Centrifuges ; • Autoclave • Dispositif de mesure de volume du biogaz • Thermo-réacteur. |
|---|---|

III.1.2. Produits chimiques et réactifs

Tableau III.1: Propriétés et caractéristique des produits utilisés

| N° | Désignation | Formule chimiques | Etat physique |
|----|-------------------------|--|---------------|
| 01 | Acide sulfurique (95%) | H ₂ SO ₄ | Liquide |
| 02 | Bichromate de potassium | K ₂ Cr ₂ O ₇ | Solide |
| 03 | Carbonate de sodium | Na ₂ CO ₃ | Solide |
| 04 | Féroïen | C ₂₀ H ₈ Br ₂ HgNa ₂ O ₆ | Liquide |
| 05 | Hydroxyde de sodium | NaOH | Liquide |
| 06 | Sulfate fer ammonium | (NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ 6H ₂ O. | Liquide |
| 07 | Sulfate d'argent | Ag ₂ SO ₄ | Solide |

III.2. Substrat d'étude**III.2.1. Le choix du substrat**

Nous avons choisi les tourteaux (résidu) des noyaux de dattes pour la production de biogaz. Les tourteaux sont les résidus solides de l'extraction de l'huile des graines (es noyaux des dattes).

Nous avons choisi ce substrat pour la production de biogaz à la base des critères suivants:

- Tonnage important selon les données des dattes (DSA-Adrar);
- La quantité des noyaux de dattes commune comme déchet non valorisé dans la région ;
- Valorisation des tourteaux des noyaux des dattes après l'extraction d'huile ;
- Ce substrat contient une proportion faible de facteur d'inhibiteurs (acides gras) pour la production de biogaz.

Tableau III.3: Production des dattes 2014 à 2020 (DSA-Adrar, 2020)

| Année | Production des dattes à Adrar (qx) |
|--------------|---|
| 2014-2015 | 910,328 |
| 2015-2016 | 913,663 |
| 2016-2017 | 937,604 |
| 2017-2018 | 935,657 |
| 2018-2019 | 934,562 |
| 2019-2020 | 935,680 |

III.2.2. Prélèvement du substrat

Ce travail est une étude complémentaire de travail effectuée par **Benmahdi E.** et **Mebarki R.** en **2019** sur le thème "Valorisation des noyaux de dattes par production de bioénergie dans la région d'Adrar".

Le substrat utilisé dans ce travail est les tourteaux restants de l'extraction de l'huile du noyau de datte, ce substrat obtenu à partir des noyaux de cinq variétés de dattes les plus abondantes dans

la région, qui ont été utilisées par les deux étudiantes mentionnées ci-dessus pour l'année 2019. Le substrat étudié conservé dans l'aire libre au laboratoire d'Université d'Adrar.

III.3. Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de deux parties principales :

- Réacteur de type batch.
- Dispositif de mesure de volume du biogaz.

III.3.1. Réacteur de type batch

Les essais ont été réalisés dans un réacteur de type discontinu. Il est de modèle de laboratoire, en verre, très simple, permettant d'assurer l'anaérobiose de milieu de culture. Ce réacteur de type batch est constitué d'une bouteille en verre d'une capacité de (03) litre, fermée hermétiquement pour assurer l'anaérobiose. Le couvercle comprend deux orifices. Le premier sert au prélèvement des échantillons et le deuxième permet d'évacuer le biogaz produit (figure 1), Ce dernier est relié au dispositif de mesure de volume du biogaz. Le réacteur est plongé dans un bain thermostaté réglé à 37°C. Une agitation manuelle est appliquée quotidiennement ([Chana et al., 2002](#); [Angélique 2001](#)).



Photo III.1. Bioréacteur type batch

III.3.2. Dispositif de mesure de volume du biogaz

Le dispositif de mesure de volume du biogaz est une colonne en verre graduée plongée dans un bécher rempli par une solution d'acide saturée en sel (acide citrique 5%, NaCl 20%, pH = 2) (Angélique 2001), afin de réduire au maximum la dissolution du CO₂.

Le volume de biogaz produit dans le réacteur va transiter dans la colonne graduée et de ce fait, va déplacer le liquide de remplissage ce qui nous permet de mesurer le volume de biogaz produit quotidiennement.

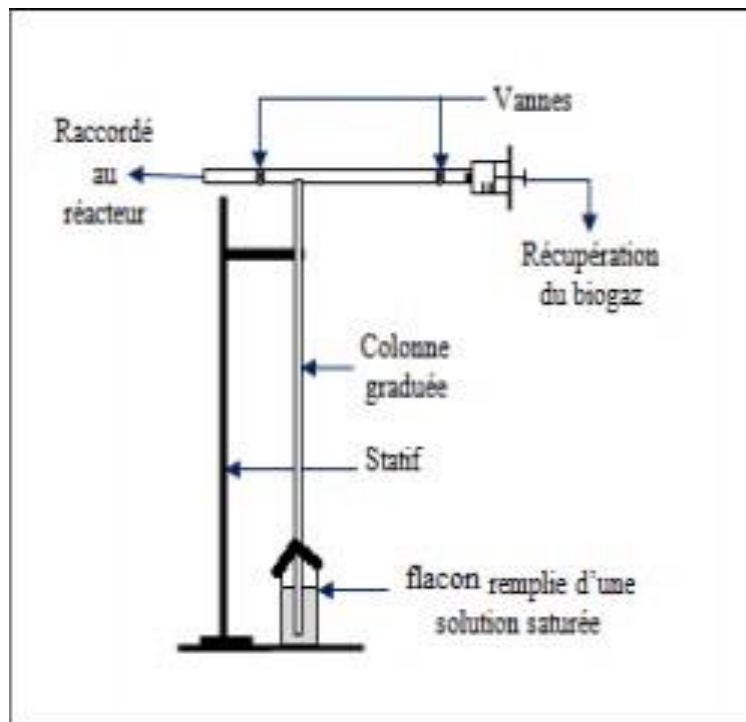


Figure III.1. Schéma du dispositif de mesure du volume biogaz.

III.4. Préparation du substrat de digestion anaérobie

III.4.1. Sans Prétraitement

- Principe

- On a pris l'échantillon et l'ajouter 16 g dans un bioréacteur type batch en verre de 1 L et le remplis avec l'eau distillé jusqu'à 700 ml trait.
- Puis on les placés dans le bain marie chauffer.

III.4.2. Prétraitement

• **Principe**

Afin d'optimiser la cinétique de la production de biogaz et de réduire le temps on a prétraité l'échantillon par 2 Méthodes, l'appareil d'autoclave et l'ajoute de H₂SO₄ pour dégrader les liaisons complexes :

✓ **Étape 1**

- Ajouter 16 g dans un bioréacteur type batch. de 250 ml et le remplis avec l'eau distillé jusqu'à 250ml trait.
- Placer les flacons verre dans l'appareil Autoclave avec une température pour une durée de 3h.
- Laisser les flacons en verre refroidisse.

✓ **Étape 2**

- Après le refroidissement, on les verse dans un batch d'un litre et le remplis avec l'eau distillé jusqu'à 700mltrait
- on ajoute 3,3 ml H₂SO₄ dans chaque flacon et les placés dans le bain marie chauffer.

• **Conditions opératoires**

Le réacteur est maintenu en condition mésophile (35 °C ± 2 °C) dans un bain marie chauffer et régulé par un thermostat.



Photo III.2. Bain marie chauffer

III.5. Les analyses effectuées**III.5.1. Calcule le tonnage des tourteaux des noyaux des dattes**

La méthode de détermination de poids d'un noyau de datte est réalisée sur 20 dattes pour chaque variété prélevée au hasard sur lesquels en déterminant :

- Les dimensions des dattes et ses noyaux (longueur et largeur), à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ cm.
- Les poids des dattes, ses pulpes et ses noyaux, à l'aide d'une balance analytique de précision de $\pm 0,001$ g.

Tonnage des noyaux calculé à la base de tonnage de dattes

Selon les données de la direction de services agricole, la région d'Adrar produit annuellement un tonnage important de dattes, environ 935 mille quintaux par an. La production de tonnage des noyaux de dattes en faible valeur marchande est calculée comme suivant :

$$PNi = \frac{\text{moyen de poids de noyau pour 20 datte} \cdot 100}{\text{moyen de poids de datte pour 20 datte}}$$

$$PN = \frac{\sum_{i=1}^5 PNi}{5}$$

$$TPN = \frac{PN \cdot 100}{TPD}$$

Avec:

- **PNi** : Le moyen de poids de noyau par rapport au moyen de poids de la datte pour une variété.
- **PN** : Le moyen de PNi.
- **TPN** : Tonnage de production des noyaux de dattes en quintaux par an.
- **TPD** : Tonnage de production des dattes en quintaux par année.

Nous avons effectué un bilan de matière au début et à la fin de la digestion anaérobie et durant la DA le suivi du pH et du volume de biogaz journalier produit.

III.5.2. Les paramètres de détermination du bilan de matière

La détermination de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO) nous permet de connaître le bilan de matière de la digestion anaérobie, cela nous renseigne également sur les performances de la dégradation du substrat au cours de la digestion des matières organiques, ainsi que sur les performances liées à la transformation de la matière organique en énergie.

III.5.2.1. Détermination de la matière sèche

- **Principe**

La matière sèche est mesurée par la dessiccation de l'échantillon dans une étuve ventilée à 103°C jusqu'à poids constant (6 heures) (Nouha, 2015).

- **Mode opératoires**

- Peser les 3 creusets vides;
- Peser 16 g dans chaque creuset et les placer dans l'étuve réglée à 103°C pendant ;
- Retirer creusets de l'étuve, les placer dans le dessiccateur et après refroidissement les peser. L'opération est répétée jusqu'à obtention d'un poids constant.

- **Expression des résultats**

La teneur en eau est calculée selon la formule suivante :

$$MS = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

Avec :

- **M₁** : Masse de l'échantillon avant dessiccation.
- **M₂** : Masse de l'échantillon après dessiccation.

III.5.2.2. Mesure de la teneur en matière organique

• Principe

Lorsque l'échantillon, préalablement séché, est soumis à une incinération à 550°C, la matière organique se consomme et la matière résiduelle constitue la matière minérale. (AOAC, 1990)



Photo III.3. Four à moufle.

• Mode opératoire

- Peser les creusets remplis en matière sèche
- Placer dans le four à moufle à une température 550°C pendant 18 heures.
- Laisser refroidir les creusets contenant la matière minérale.

• Expression des résultats :

$$MO\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100$$

$$MO\% = 84.71$$

Avec :

- **M** : masse de la capsule ;

- M_1 : masse de l'échantillon après dessiccation ;
- M_2 : masse de l'échantillon après calcination.
- MO % : Pourcentage de matière organique contenue dans l'échantillon.

III.5.3 Mesure du pH

- **Le principe**

Le pH est un facteur facile à mesurer, le changement du pH peut être un indicateur, et la cause du déséquilibre du processus.

La mesure de pH a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre basic 20 (**figure III.4**), par prolonger l'électrode dans le Béchar qui contient la solution.



Photo III.4. Dispositif de mesure de pH (pH mètre)

III.5.4. Paramètres suivis durant la digestion anaérobie

A cause de la complexité du processus de la digestion anaérobie, elle nécessite un contrôle pour assurer la réussite de cette opération, due à la sensibilité des groupes micro-organismes à plusieurs facteurs, il est important de pouvoir détecter n'importe quelle déséquilibration. Pour cela pendant la durée de la digestion, nous avons suivi deux groupes de paramètres, qui sont les suivants :

1. Paramètres du fonctionnement
 - Le pH
 - Le volume du biogaz
2. Paramètres d'épuration
 - La demande chimique en oxygène (DCO) ;
 - Les acides gras volatils (AGV) ;

III.5.4.1. Paramètres du fonctionnement**A. Ajustement du pH méthode**

Depuis le 2ème jour et pendant les 1 jours suivantes, le pH déséquilibre à des valeurs minimales (5 - 6), ce qui influe la phase méthanogène, pour cette déséquilibration nous avons ajusté le pH avec du carbonate de sodium (Na_2CO_3) (Mayer, 2006) de telle sorte à maintenir sa valeur au voisinage de 7.

le développement et l'activité des bactéries méthanogènes et aussi favoriser la formation du biogaz sont basés sur la valeur de pH (Boutouta, 2012) .

- **Mesure de volume de biogaz**

Le but de la digestion anaérobie est la production de biogaz. Durant ce procédé le volume de biogaz était mesuré régulièrement.

- **Méthodes**

Le mesure de volume de biogaz est basé sur le déplacement de liquide, de digesteur sort le biogaz passant par l'éprouvette graduée plongé dans le flacon remplis en eau, ce qui va déplacer le niveau du liquide contenu dans l'éprouvette et indique le volume du gaz produit.



Figure III.5. Mesure de volume de biogaz

III.5.4.1. Paramètres d'épuration

A. Détermination de la DCO (Concentration en masse d'oxygène)

Concentration en masse d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies (ISO 60660 (fr), 1989).

• **Méthode**

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.

Toutes les mesures de la DCO sont réalisées sur des échantillons dilués, et ont été mis dans la centrifugeuse.



Photo III.6. La centrifugation.

- **Photo à gauche :** Echantillon avant la centrifugation ;
- **Photo au milieu :** La centrifugeuse utilisée ;
- **Photo à droite :** Echantillon après la centrifugation ;

Après le refroidissement, dans une série de 3 tubes on met de 3ml de l'échantillon dilué, 2 ml sulfate d'argent (Ag_2SO_4) comme catalyseur, et 4 ml bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), Le mélange est porté à l'ébullition pendant deux heures dans le thermo-réacteur.



Photo III.7. Thermo-réacteur.

On retire les tubes et on les laisse refroidir. On verse chaque tube dans un erlenmeyer et l'excès de bichromate de potassium est dosé à l'aide d'une solution de sulfate fer ammonium (sel de Mohr) en présence de 2 gouttes de féroïen jusqu'à la coloration rose violé.



Photo III.8. L'ajoute de féroïen

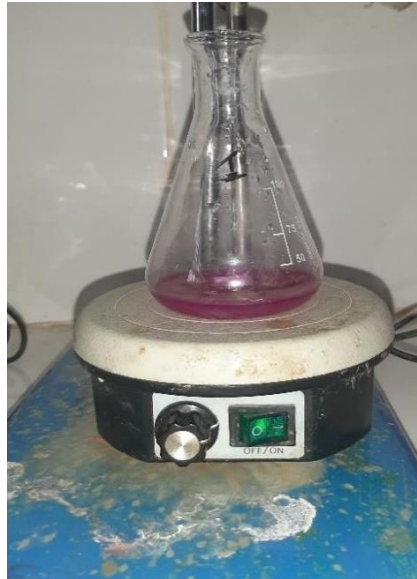


Photo III.9. Titrage avec sel Mohr jusqu'à coloration

- **Expression des résultats**

La DCO est exprimé par la relation suivante :

$$DCO = \frac{(V_t - V_e) \times 8000 \times T \times d}{V_e} \text{ (mg d' } \mathcal{O}_2 \text{ /l)}$$

Avec :

- V_T : Volume de sel Mohr pour le témoin ;
- V_E : Volume de sel Mohr pour l'échantillon ;
- V_e : Prise d'essai ;
- T : Titre de sel Mohr ;
- d : Facteur de dilution.

B. Détermination des AGV (acides gras volatils)

Le contrôle des acides gras volatils, stade intermédiaire obligatoire de la digestion anaérobie, est indispensable. Leur accumulation traduit un ralentissement de l'activité des bactéries méthanogènes et peut provoquer le blocage du processus fermentaire.

- **Méthode**

Pour déterminer la concentration totale en acides gras volatils, on continue d'ajouter de

l'acide sulfurique à l'échantillon jusqu'à atteindre une valeur de $\text{pH} = 3,5$, après on fait bouillir

le liquide pendant 3 minutes, 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 V2. On continue d'ajouter la soude jusqu'à atteindre une valeur de pH = 7, on marque le volume, soit V3.



Photo III. .10. L'ajoute d'acide sulfurique



Photo III.11. Mesure de pH

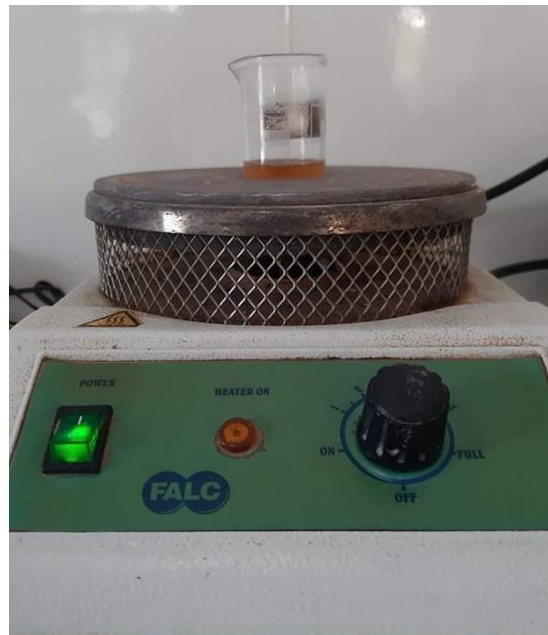


Figure III.12. L'ébullition de liquide sur la plaque chauffante.

- **Expression des résultats**

L'AGV est exprimé par la relation suivante :

$$AGV = \frac{V_3 - V_2 \times 0,1}{V_e} \times 1000 \text{ (meq/l)}$$

Avec:

- V_e : Volume de d'échantillon
- V_2 : Volume de NaOH, pH = 4 ;
- V_3 : Volume de NaOH, Ph = 7 ;

6. organigramme de l'étude

- **Sans prétraitement**

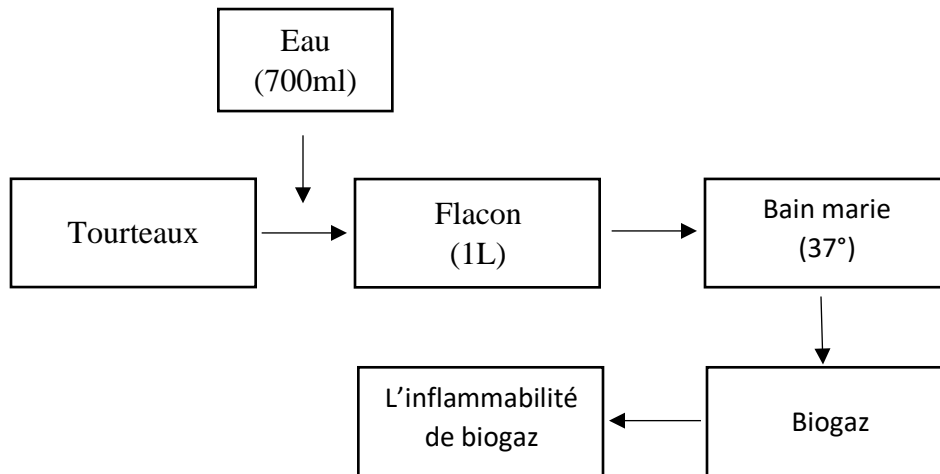


Figure III.2. Organigramme de l'étude sans prétraitement.

- Avec prétraitement

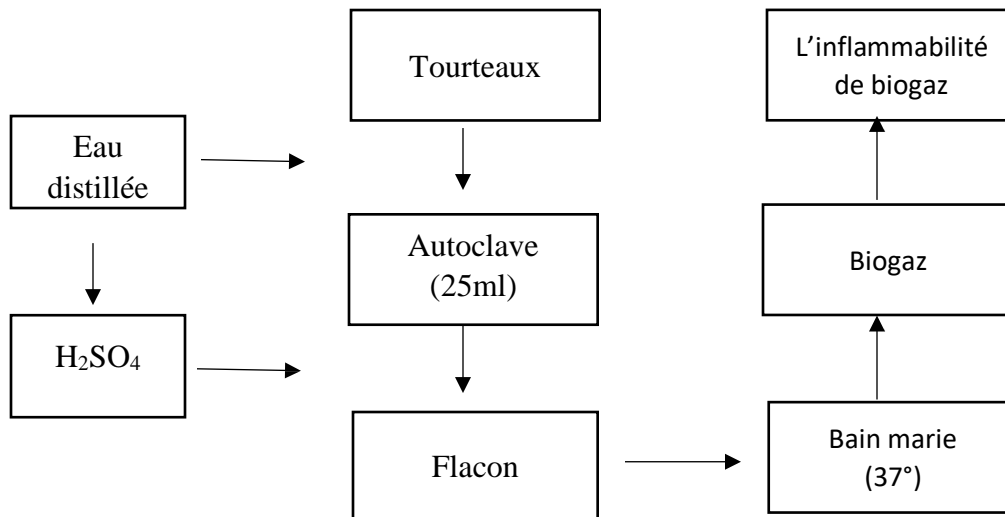


Figure III.3. Organigramme de l'étude avec prétraitement.

Chapitre IV :

Résultats et

Discussion

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.1 Caractérisation du substrat utilisé

Les principales caractéristiques physico-chimiques du substrat utilisé dans cette étude, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques des substrats avant la fermentation

| Substrat utilisé | Noyaux de dattes |
|-----------------------|------------------|
| Matière sèche (%) | 94.77 |
| Matière organique (%) | 84.71 |

IV.2 Evolution des paramètres de fonctionnement

IV.2 .1 Évolution du pH

Le potentiel hydrogène est l'un des paramètres les plus importants qui affecte la stabilité du processus (Wellinger *et al.*, 2013) ont confirmé qu'un pH optimal et uniforme présente l'une des conditions de base doit être remplie pour permettre aux bactéries de dégrader efficacement le substrat. (Pishgar, 2015) a conclu que la gamme de pH de 6,5 à 7,5 offre un environnement adapté à la plupart des bactéries anaérobies, y compris les bactéries méthanogènes. De plus, une diminution considérable du risque d'inhibition des bactéries méthanogènes est enregistrée lorsque le pH est ajusté entre 7,0 et 8,0 (Meng *et al.*, 2018).

La figure IV.1 qui présente l'évolution de pH a montré des différences majeures entre le prétraitement et le traitement apporté au substrat. A partir de valeurs initiales comprises entre 7,1 et 7,52, le pH du milieu d'incubation avait considérablement diminué au jour à la deuxième semaine à 5,83 pour l'expérience sans prétraitement.

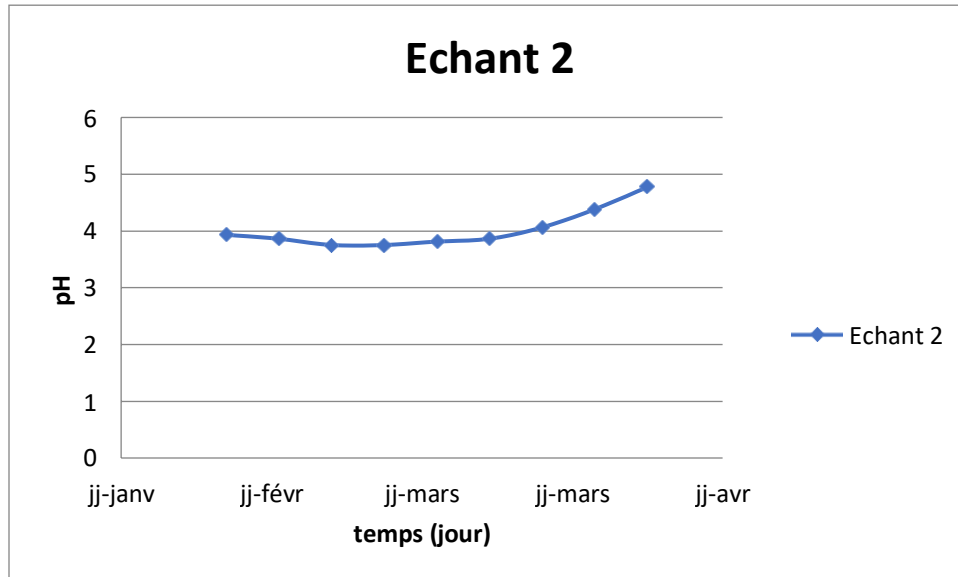


Figure IV.1 : Évolution du pH en fonction de temps pour le digesteur sans prétraitement.

Cela s'explique par la formation et l'accumulation d'acides gras dans le milieu pendant la deuxième semaine de digestion pour l'expérience avec prétraitement. Au début de la troisième semaine la valeur du pH a atteint une valeur de 7,28 (valeur optimale pour la digestion anaérobie) jusqu'à la fin de l'expérience. Ces valeurs de pH sont attribuées à la consommation d'acides gras volatils et à l'épuisement de la matière organique. Ces observations sont similaires à celles rapportées précédemment par (Sunyoto et al., 2017).

Contrairement, le pH dans l'expérience sans prétraitement à atteindre des valeurs de 3,75 - 4,77 et maintenant ce niveau jusqu'à la fin de l'expérience. Il est bien établi que la plupart des méthanogènes ne pousseront pas à un pH inférieur à 5 (Ferry, 1993), ce qui est l'explication logique de la faible concentration de méthane dans l'expérience sans prétraitement. Ce résultat est cohérent avec l'étude d'Inthapanya et al, (2013) utilisant des déchets d'écorces de fruits pour produire du biogaz. Ces auteurs ont montré que dans un digesteur discontinu chargé de déchets de fruits, le pH après 5 jours était tombé des valeurs initiales de 6,5 à 7,0 à un pH de 4,1 avec la peau de papaye, 4,3 avec la peau de banane et 3,7 avec la peau d'orange.

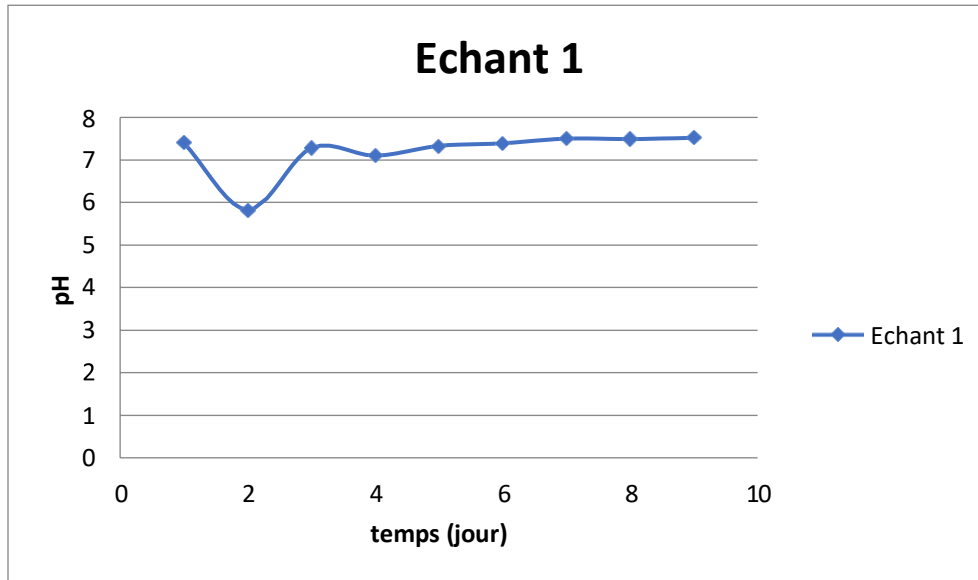


Figure IV.2 : Évolution du pH en fonction de temps pour le digesteur prétraitement.

Les recherches futures nécessiteront soit l'utilisation d'un milieu tampon au démarrage, soit une introduction progressive du substrat pour limiter la vitesse de fermentation dans les 1-2 premières semaines, une procédure bien établie pour la gestion des fermenteurs de déchets industriels (Kurien *et al.*, 2012).

IV.2.2 Evolution du volume de biogaz : filtre

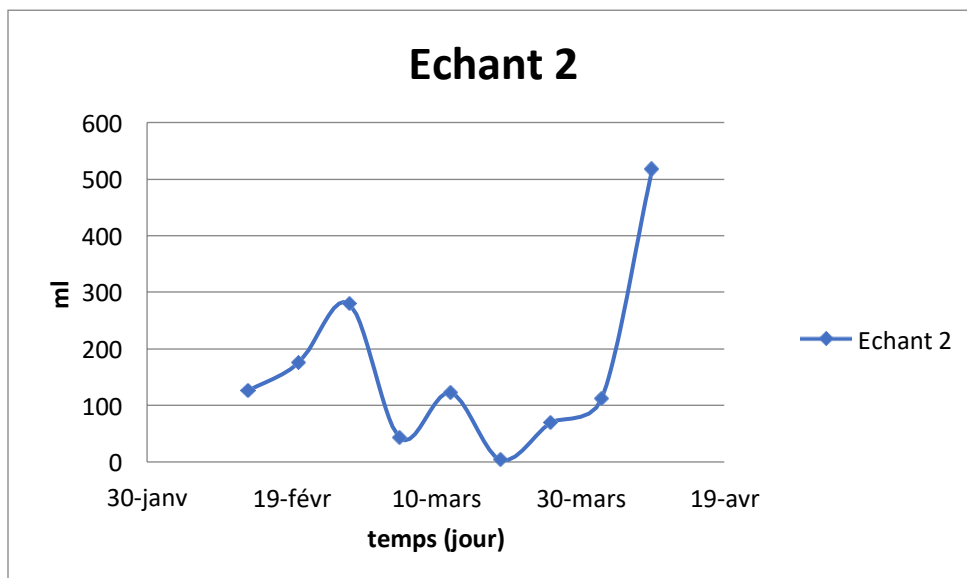
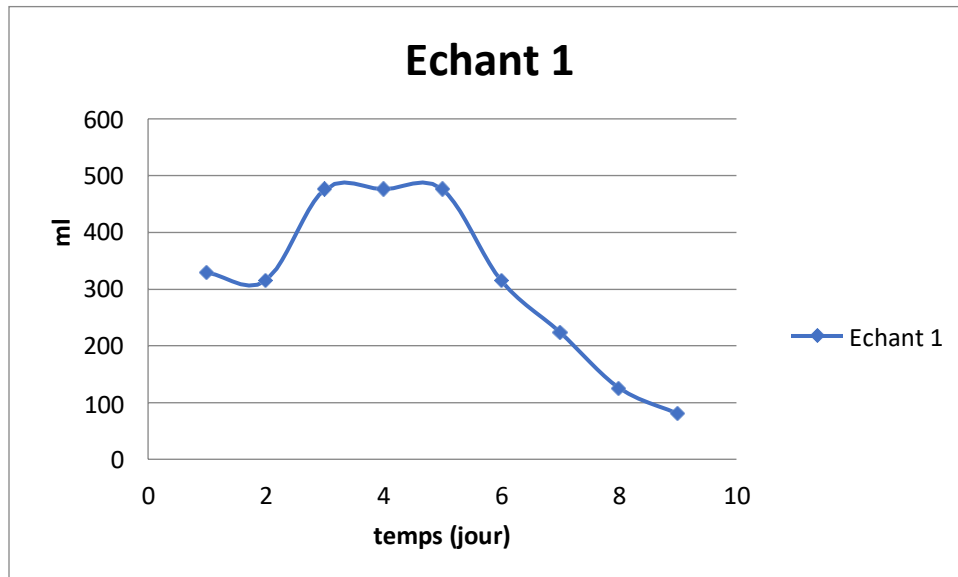


Figure IV.3 : Evolution du volume de biogaz en fonction de temps pour le digesteur sans prétraitement.

La production de biogaz au cours de la période de digestion pour le prétraitement était la plus élevée avec les digesteurs sans prétraitement Figure IV.3 ,4 En revanche, la production de gaz pour le prétraitement augmenté régulièrement, la première semaine à un maximum le 4 et 5 semaines, suivies d'un déclin progressif pendant le reste de la période de digestion.

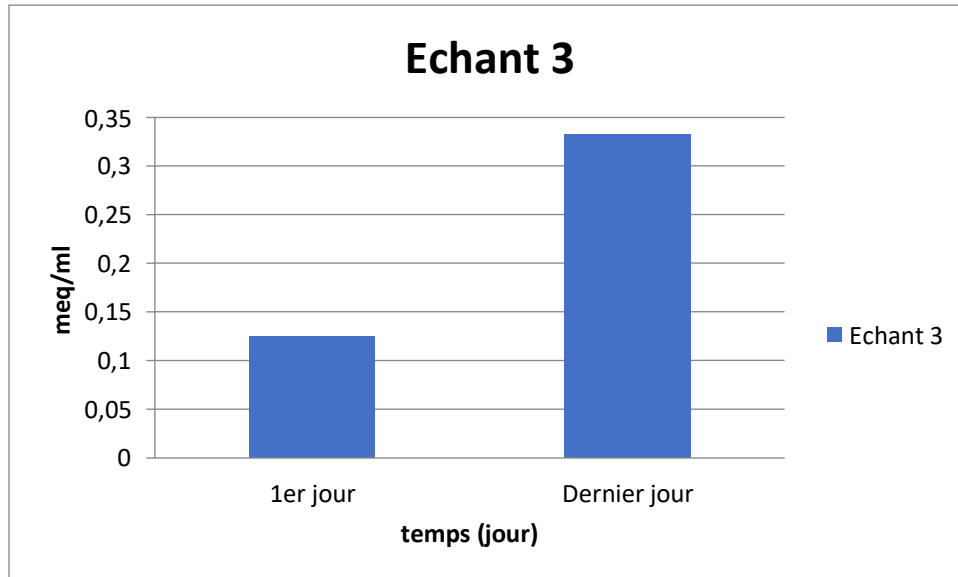


La figure IV.4 : Evolution du volume de biogaz en fonction de temps pour le digesteur prétraitement.

IV.3 Évolution des paramètres d'épuration :

IV.3.1 L'évolution des acides gras volatils

IV.3.1.1 Rapport acides gras volatils/Titre alcalin complet



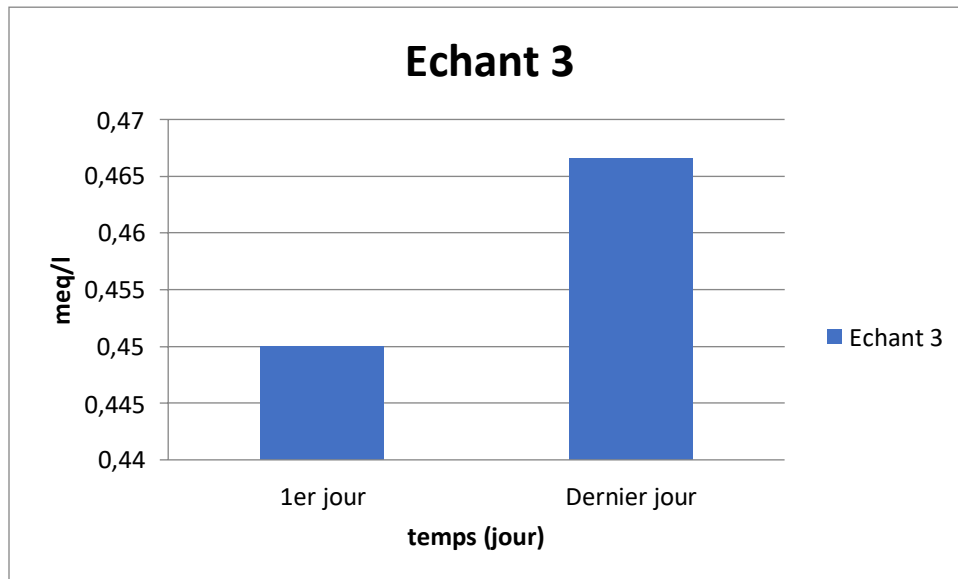
La figure IV.5 : variation de rapport AGV/TAC pour le digesteur sans prétraitement.

Le rapport AGV/TAC est l'indicateur de la stabilité du processus de digestion. [Rasapoor et al., 2020](#), ont divisé la stabilité du processus du AD selon trois gammes du rapport AGV/TAC, un processus stable pour le rapport AGV/TAC $< 0,4$; un processus instable pour $0,4 < \text{rapport AGV/TAC} < 0,8$ et un processus significativement instable pour un rapport AGV/TAC $> 0,8$.

Au début de la digestion, les valeurs de rapport AGV/TAC de 0,12 et 0,45 sont enregistrées pour l'expérience sans prétraitement et avec prétraitement respectivement, indiquent un processus stable de l'AD. Du processus de digestion.

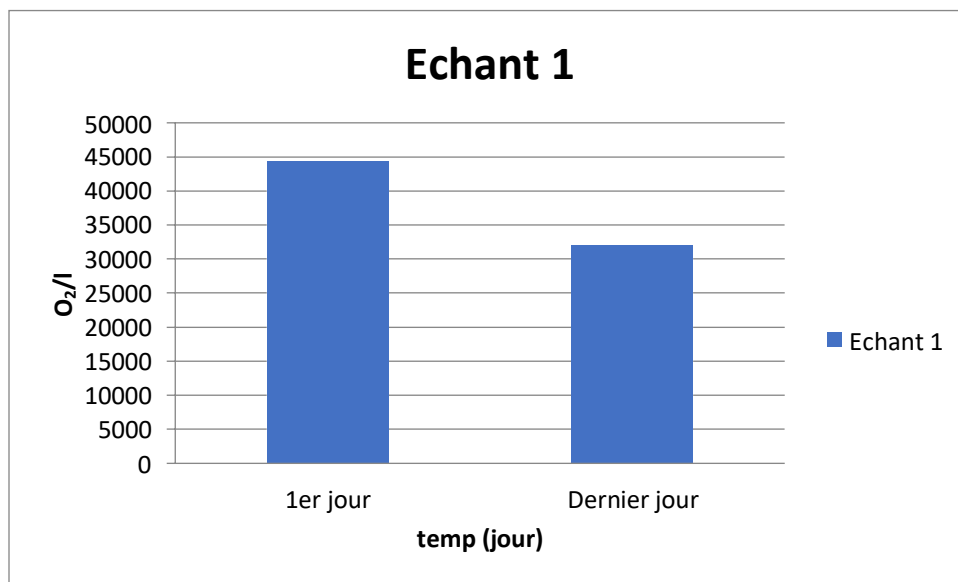
A la fin de la digestion, les réacteurs contenant le prétraitement affichent des rapport de AGV/TAC de 0,33 maintiennent le rapport AGV/TAC inférieur à 0,4. Ces réacteurs ont présenté une diminution des rapports AGV/TAC indiquant la conversion des AGV en biogaz et permettent ainsi d'éviter l'acidification et par conséquent l'inhibition dans ces réacteurs, et ce qui présent un processus AD stable. Au contraire, les réacteurs contenant le mélange sans prétraitement ont connu une augmentation du rapport AGV/TAC avec des valeurs de 0,47, indiquant un processus instable. Enfin. Figure IV.5, 6 Les mêmes résultats et découvertes sont trouvés par [Tahri et al., 2020](#).

- Prétraitement



La figure IV.6 : Variation de rapport AGV/TAC pour le digesteur prétraitement.

IV.3.2 Variation de la demande chimique en oxygène (DCO)

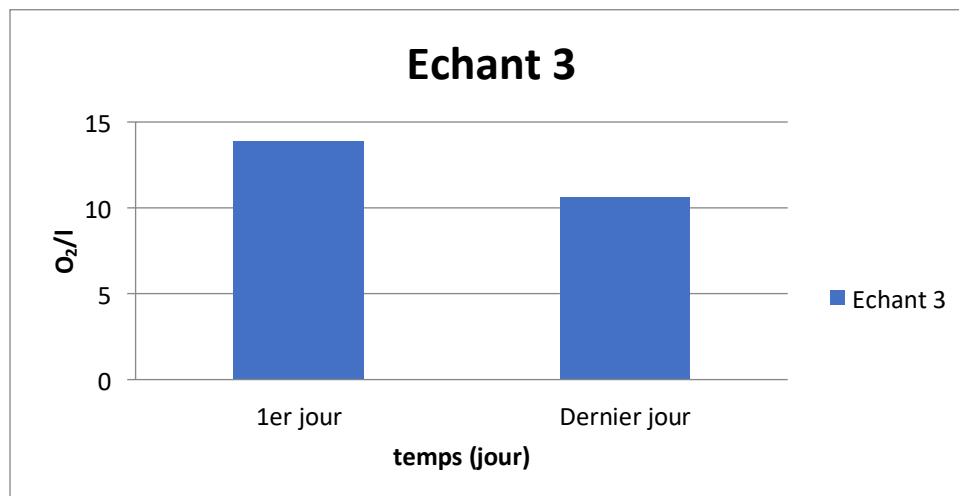


La figure IV.7 : Variation la DCO pour le digesteur sans prétraitement.

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques et inorganiques contenues dans la solution de digestion (Tsapekos *et al.*, 2015). Une élimination significative de la DCO en fin de digestion indique un bon fonctionnement du processus AD avec une activité intense des bactéries méthanogènes qui est due à la faible présence d'inhibiteurs (Huang *et al.*, 2019).

Les valeurs de COD initiales de étaient de 44373.33 et 13866 mg O₂/L obtenus dans l'expérience sans prétraitement et dans l'expérience avec traitement respectivement.

À la fin de la digestion, l'expérience sans prétraitement enregistre une valeur de DCO égale à 32000 mg O₂/L, alors que l'expérience avec prétraitement a enregistré une valeur de DCO égale à 10640 mg O₂/l, Avec un taux de réduction significative des valeurs d'élimination de la DCO 19 % et 28 % respectivement. Fig 7,8. En outre, La réduction des valeurs d'élimination de la DCO indique le transfert de conversion du carbone organique produit lors de la phase d'hydrolyse vers le biogaz et la consommation d'une partie des volatils solides volatils par les microorganismes (Tang *et al.*, 2019), qui est bien évident par le volume de biogaz produit pendant l'expérience. La réduction la plus importante de la valeur d'élimination de la DCO la plus élevée (28 %) est obtenue par l'expérience avec prétraitement. En comparaison avec la littérature, la réduction maximale de la valeur d'élimination de la DCO de 77% du cultivar Hmira par prétraitement alcalin « folioles sèches de palmier dattier Algérien (*Phoenix dactylifera* L.) Hmira» reporté par Djafri *est al.*, 2020.



La figure IV.8 : Variation la DCO pour le digesteur prétraitement.

Conclusion et Perspective

Conclusion générale

L'épuisement annoncé des ressources énergétiques fossiles, allié au problème environnemental du ré-chauffement climatique ont renforcé l'intérêt pour les énergies renouvelables et les alternatives. D'autre part elles offrent des moyens de production d'énergies à une échelle locale, parmi les multiples sources d'énergies renouvelables (solaire, éolien, thermique,) le biogaz produit par digestion anaérobie, occupe une place particulière ; l'utilisation contrôlée de ce phénomène naturel permet de valoriser les déchets organiques en produisant du biogaz qui pourra se substituer au gaz naturel pour de nombreuses applications (cogénération, chauffage, moteur à gaz, carburant automobile). Une utilisation croissante de la digestion anaérobie s'inscrit ainsi dans une politique de développement durable. Les gisements de matière organique pouvant servir à produire du biogaz sont nombreux (effluents industriels et agricoles, déjections animales, déchets ménagers,), mais ils restent néanmoins non exploités.

Par ailleurs chaque année la wilaya d'Adrar produise environ ou plus de 900.000 quintaux des dattes de palmier dattier ça veut dire presque la même quantité de noyau dattier comme un déchet non valoriser, Un déchet riche en matière grasse et organique. Les noyaux de dattes représentent 53.34% de la masse totale de la datte entière. Les études se faites sur ces noyaux montre qu'ils se caractérisent par : l'humidité 57.22, la teneur en matière grasse 5.722%, et 84.7% de matière organique.

Les résultats obtenus dans ce travail sont acceptables surtout ceux qui ont été prétraité avec l'appareil d'autoclave et l'ajoute de H₂SO₄ pour dégrader les liaisons complexes.

Selon les résultats des paramètres du fonctionnement et paramètres d'épuration étudiés, l'échantillon a un potentiel hydrogène bien établi que la plupart des méthanogènes ne pousseront pas à un pH inférieur à 5, une production de biogaz est stable sur une p période de deux semaines et en fin une valeur d'élimination de la DCO élevée. En fin la quantité des noyaux jetées chaque année soit au niveau national ou local est une quantité massive utilisable avec une gagne financière et environnemental.

Pour une suite utile de ce travail nous recommandons de prétraitement de l'échantillon dès le début, et cela pour améliorer les résultats, il faut bien maîtriser les procédés utilisés dans la méthanisation pour améliorer la production de biogaz et aussi son inflammabilité.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis of Association Official Analytical Chemists. 18th. Ed. Washington. D.C USA.

Aberlenc-Bertossi, Frédérique (2010). Biotechnologies du palmier dattier : actes du 3^{ème} séminaire du réseau AUF-BIOVEG. Marseille : IRD, Pp, 261.

Abou Zied A.A., Baghlef A.O. (1983). Utilization of date seeds and cheese whey in production of citric acid by *Candida lipolytica*. Agricultural Wastes, 8: Pp, 131-142.

Acourene et Tama (1997). Caractérisation physicochimique des principaux cultivars de datte de la région des Zibans. Recherche Agronomique, N° 1. Ed. INRAA: Pp, 59-66.

ADEME (2010). L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. La méthanisation comment se transforme la matière organique en énergie. Fiche Technique. Pp 6.

Alhamed, Y.A. (2009). Adsorption kinetics and performance of packed bed adsorber for phenol removal using activated carbon from dates stones., J .hazard .Mater. Pp, 763-77.

Ali B.H, Bashir A.K. (1999). Statut hormonal reproducteur de Hadrami G. d'Al des rats traités avec des puits de date. Nourriture Chem, vol. 66: Pp 437-41.

Angélique, L. (2001). Biométhanisation. Rapport technique . Liège: Université de liège.

Bahiani M. (2009). Séminaire international protection et préservation des écosystèmes sahariens (1.ECOSYS09) Ouargla, les 13,14 et 15 décembre 2009. Le palmier dattier «*Phoenix dactylifera* L.» du Touat.

Belguedj, M. (2002). Les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du Sud-Est algérien ». Dossiers Documents Débats - N° 1. Inra Alger.

Benahmed Djilali A. (2012). Analyse des aptitudes technologiques des poudres de dattes (*Phoenix dactylifera*-L.) améliorée par la spiruline. Études des propriétés rhéologiques, nutritionnellement et antibactérienne. Boumerdes: Université M'hamed Bougara.

Références Bibliographiques

Benmehdi E., Mebarki R. (2019). Valorisation des noyaux de dattes par production de bioénergie dans la région d'Adrar. Mémoire de Fin d'Etude en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Chimique. Université d'Adrar. 2018/2019.

Bennaceur M., Lanaud C., Chevallier M. H., Bounaga N., 1991. Genetic diversity of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) from Algeria revealed by enzyme markers. *Plant Breeding*, 107 : 56-69.

Bernet N., Buffière P. (2008). Caractérisation de la mise en oeuvre de la méthanisation. California Natural Resources Agency. Department of Resources Recycling and Comment se transforme la matière organique en énergie. Lavoisier, Pp, 87-113.

Bessas, A. (2008). . Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien . Mémoire de Ingénieur d'état Université Djillali Liabes -Sidi Bel Abbes , Pp, 51.

Bertolini G. (2005). Économie des déchets. Éditions Technip, Paris.

Billek H, Announ N. (2013). Caractérisation et incorporation dans une margarine des extraits de noyaux de datte d'une variété sèche. Mémoire de master. 2012-2013: Pp, 4.

Biochemistry of Endosperm Break down in Date Palm (*Phoenix dactylifera*. L) Seeds. *Protoplasma*. 126: Pp, 159-167.

Bougedoura N., Benkhalifa, A., et Bennaceur. M. (2010). Le palmier dattier en Algérie : Situation, contraintes et apports de la recherche. *Biotechnologie du Palmier dattier*, IRD Éditions, collection Colloques et séminaires, Paris: Pp, 15-22p

Bougedoura N. (1980). Morphologie et ontogenèse des productions axillaires du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L. . C.R.Acad.Sc. Paris, Série D, t. 291: Pp,857-860.

Boukhiar .(2009). Analyse de procesus traditionnel d'obtention du vinaigres de dattes tel qu'applique au sud Algérien : Essai d'optimisation. Mémoire de magistère en Technologie Alimentaire , Université Mhammed Bougara Boumerdes. 01/07/2009 : Pp 65.

Références Bibliographiques

Boulal A. (2017). Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. Thèse de doctorat. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella. Soutenu le 28/06/2017 .

Bounaceur A. (2015). Etude et conception d'un système hybride de production d'énergie». Mémoire de Master Professionnel. Université de Kasdi Merbah d'Ouargla, soutenue le 07 / 06 / 2015. Pp, 1-43.

Boussena Z., Khali M. (2016). Extraction et composition chimique d'huile de noyaux de dattes Algériennes. Nutrition et Santé, Vol.05 (02): 100-106.

Boutouta I. (2012). Valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville de Blida. Université Saad Dahlab de Blida, soutenu en 2012. Pp, 47.

Khali M., Boussena Z., Boutekrabi L (2015). Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre. Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 12/ Janvier 2015, Pp 16 - 26.

Buelguedj M (2001). Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du sud-Est Algérien. Revue annuelle. N° 11. INRAA. El-Harrach. Alger : Pp 289

Buffiere P., Bayard R., Germain P., (2009). Freins et développements de la filière biogaz : les besoins en recherche et développement. Rapport final, Décembre 2009. www.record-net.org

CACI. (2015). Analyse Statistique du Marche Mondial de la Datte et Place de l'Algérie. République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère du Commerce. Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie Exposé présenté par M. Kadri Saadane, Secrétaire Général Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie 22 Mars 2015.

Chahma ., Longo HF., Siboukeur A. (2000). Estimation du tonnage et valeur alimentaire de sous produits du palmier dattier chez les ovins. Revue de Recherche Agronomique (INRAA), vol7: Pp, 7-15.

Chaira N., Ferchichi A., Mrabet A., Sghairoun M., 2007. Chemical Composition of the Flesh and the Pits of Date Palm Fruit and Radical Scavenging Activity of Their extracts. Pakistan Journal of Biological Sciences. 10 (13): 2202-2207.

Chana, G.Y.S., Chub L.M., Wongc, M.H. (2002). Effects of leachate recirculation on biogas

Références Bibliographiques

production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment.» *Environmental Pollution*:- Pp, 393–399.

Cherifi.(2007). Valorisation d'un résidu naturel ligno-cellulosique en charbon actif-exemple des noyaux de dattes. *Revue des énergies renouvelables ICRESD-07 Tlemcen*. Pp, 187-192.

Chevalier A, C. (1952). Recherches sur les Phoenix africains;Rév. Int. De Bot. App. Et d4algrie. *Trop. RBA.*, Mai- Juin.1952

CIRAD. (2013). Passions vegetales. Récupéré sur Morphometry date palm: <http://www.listephoenix.com>

Cook JA., Furr JR. (1952). Sugars in the fruits of soft, semi-dry and dry commercial date varieties. *Date Growers Inst. Rept. N° 29*: Pp, 3-4.

County Y. (2008). Toward a Twenty-first Century Landfill Yolo County's Accelerated Anaerobic and Aerobic (Controlled Landfill Bioreactor) Composting Projects. In Site du Yolo County, Full-scale bioreactor. <http://www.yolocounty.org/>

Dahou M. (2018). Recherche des conditions optimales de la production du biogaz à partir des boues de la station de lagunage de la ville d'Adrar. Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla. Soutenue le 24/09/2018: Pp, 28.54.

Dammak I., Ben Abdallah F., Boudaya S., Besbes S., Keskes L., EL Gaied A., Turki H., Attia H. & Hentati B. (2007). Nouvelles approches technologiques de valorisation des dattes tunisiennes à faible valeur marchande. médénine: Etablissement nstitut des régions arides de Médenine (IRA) .

DSA. Statistique (2020). Direction des Services Agricoles. Adrar.

Damien A. (2004). Guide du traitement des déchets' 3ème Edition, Dunod. Pp, 448.

Djoudi I. (2013). Contribution à l'identification et à la caractérisation de quelques accessions du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la région de Biskra. Mémoire de Magester, Université Mohamed Kheider Biskra: Pp, 1-96.

Darleen A.,demason R., sexton M., Gorman., Reid J.S.G. (1985). Structure and biochemisery of Endosperm Breakdown in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Seeds. *Protoplasma* .126: Pp, 159-167.

Références Bibliographiques

- De La Farge B., Heduit M., Brondeau P., Mongin J. P., Saugere D., Cambus L. (1983).** La méthanisation des lisiers de porcs. Journées de Recherche Porcine en France, vol. 15, Pp, 11-22.
- De La Farge B. (1995).** Le Biogaz, Procédé de fermentation méthanique. Edition Masson, Pp, 237.
- Devshony, S., Eteshola, E., Shani, A. (1992).** Caractéristiques et quelques applications potentielles des graines de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) et de l'huile de graines. Journal de la Société Américaine des Chimistes du pétrole (JAOCS), 69: Pp 595-597.
- Djaafri M. Kalloum S. Kaidi K. F. Balla S. Meslem D., Iddou A. (2020).** Enhanced Methane Production from Dry Leaflets of Algerian Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Hmira Cultivar, by Alkaline Pretreatment. Waste Biomass Valor., Vol. 11 (6): Pp, 2661-2671.
- Djerbi. (1994).** Précis de phoéniculture. FAO: Pp, 192.
- Dubost D, (1990).** Mutation du système de production oasien en Algérie. Éd. CRSTRA, Algérie.
- El Nemer A., Khaled A., Abdelwahab O., El-Sikaily A., (2007).** Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed. J. Hazard. Mater doi:10.1016/j.jhazmat.2007.06.091
- ESPIARD. (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc-Lavoisier. Pp, 147-155.
- Ferhi, H. (2013).** Le recyclage des déchets en Algérie. Une filière en gestation in Magrebémurgent.
- Ferry, JG. (1993).** Méthanogenèse : écologie, physiologie, biochimie et génétique. Chapman and Hall, New York, NY10119.
- Fredric S.D. (2019).** Biogas Europe, <https://www.methanisation.info/index.html>
- Ghazi F., Sahraoui S., (2005).** Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de datte communes Tantboucht et Hamraia, Mémoire d'ingénieur en agronomie, El Harrach: Pp, 45.

Références Bibliographiques

Girgis BS.; El-Hendawy AA. (2002). Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid., *Micropor. Mesopor. Mat* (52): Pp, 105–117.

Hadjari M., Kadi Hanifi M. (2005). Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud Algérien. Thèse d’université. Université de Sidi Bel Abbas. Algérie.68Soutenu le 21.06.2008, Pp, 3.

Hamada J.S., Hashim I.B., Sharif F; A. (2002). Preliminary analysis and potential uses of date pits in foods. *Food Chemistry*, vol.76: Pp, 135-137.

Harrak H., Boujnah M. (2012). Valorisation technologie des dattes au Maroc. INRA édition , Maroc. Institut National de la Recherche Agronomique. INRA Edition. Pp, 157.

Hentati B., (2007). L’huile de graine de datte limite les lésions oxydatives induites par le peroxyde d’hydrogène dans les organes de la peau humaine. *Bio Factors*, vol 29: Pp, 137-145.

Hess J. (2007). Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation. *Automatique / Robotique*. Université Nice Sophia Antipolis. Français. tel-00257347

Huang C., Xiong L., Guo H., Li H., Wang C. (2019). Anaerobic digestion of elephant grass hydrolysate : Biogas production, substrate metabolism and outlet effluent treatment”, *Bioresour. Technol.*, vol. 283: Pp, 191-197.

Hussein A.S., Alhadrami G.A. (2003). Effect of Enzyme Supplementation and Diets Containing Date Pits on Growth and Feed Utilization of Broiler Chicks. *mAgricultural and Marine Sciences*, vol.8(2): Pp, 67-71.

ISO 6060 (fr). (1989). Qualité de l’eau — Détermination de la demande chimique en oxygène – Trouvez la solution parfaite pour chaque application. France: Laboratoire Humeau.

ITADS Biskra. (2010). Institut Technique De Developpement De L’agronomie Saharienne. Situation De La Transformation Des Dattes En Algerie

Références Bibliographiques

Jain, MK., Bhatnagar L., et Zeikus JG. (1990). Biochemical pathways for methane fermentation and use of granulated biomass for high-rate anaerobic digestion. International Conference on BIOGAS Technologies and Implementation Strategy, Pune (India).

João A, Amarante L. (2010). Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – technologies disponibles et enjeux pour le QUÉBEC. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.) Centre Universitaire de Formation en Environnement. Université de Sherbrooke, Québec, Canada.

Juventus FC. (2006). Fascicule de brevet européen. EP 1 414 404 B1.

kaabeche A, Belhamel M, Ibtouen R, Moussa S., Benhaddadi R., (2006). Optimisation dun système hybride (éolien – photovoltaïque) totalement autonome. Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9(3): Pp, 199 – 209.

Kaidi, F., Touzi, A. 2001. Production de bioalcool à partir des déchets de dates. Revue des énergies renouvelables: Production et valorization- Biomasse: Pp, 75-78.

Kakule manzekele A. (2008). Problématique de la gestion des déchets d'élevage et ménagers biodégradables: Cas de la cité de Lubero.

Khali M, Boussena Z et Boutekrabi L. (2013). Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre. Revue « nature & technologie ». B- sciences agronomiques et biologiques, n° 12: Pp, 16-26.

Khalifa A., (1980). Effet of source of pollen on the physical and chemical quality of (Amhat) Date variety date palm Journal, 2(2): Pp, 88-92.

Kherbouche D., Benyoucef B. (2007). Valorisation énergétique de la biomasse : Production et Purification du biogaz obtenu à partir de la méthanisation sur sites Algériens. 13èmes Journées Internationales de Thermique. Albi, France du 28 au 30 Août 2007. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00164155/document>.

Kurian R., Slade J., Holliday M., Liver S., Derjugin W. (2012). Avoiding indigestion start-up anaerobic digesters. Paper presented at WEAO 2012 Technical Conference, Ottawa, Ontario. April 22-24, 2012.

Références Bibliographiques

Mansouri A. Guendez E. Kokkalou E. and Kefalas P ,2005). Phenolic profile and antioxidant activity of Algerian ripe date palm (*Phoenix dactylifera*). *Food.Chem.* Vol89: Pp, 411-420.

Marchaim U. (1994). Les procédés de production de biogaz pour le développement de technologies durables (bulletin des services agricoles de la FAO N° 95. FAO.

Meng X., Yu D., Wei Y., Zhang Y., Zhang Q. (2018). Endogenous ternary pH buffer system with ammonia-carbonates-VFAs in high solid anaerobic digestion of swine manure: An alternative for alleviating ammonia inhibition ?. *Process Biochem.*, Vol. 69: Pp, 144-152

Moleta R.(2009). La méthanisation, Edition Tec & Doc. Pp, 3-4.

Munier. 1973. Le palmier dattier. Coll. Techniques agricoles et productions tropicales. Editions Maisonneuve et Larose, Paris, Pp, 221.

Najafpour G. (2015). Biological Treatment**This case study was partially written with contributions from:Roya Pishgar, School of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Mazandaran, Iran. In book: *Biochemical Engineering and Biotechnology*, pp.557-595. Pp, 557-595.

Noui Y.M. (2017). Fabrication et caractérisation des produits alimentaires élaborés a base de dattes (*Phoenix dactyléfira-L*). Batna: Université de Batna L'hadj Lakhdar. Soutenue en 2017: Pp, 1-87

Ostrem KM. (2004). Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. Mémoire de Maîtrise, Columbia University, Department of Earth and Environmental Engineering, New York.

Ozenda P.(2004). Flore et végétation du Sahara. Troisième édition. CNRS édition.750005 Paris. 92, 438, 662.

Peyron G. (2000). Cultiver le palmier dattier. Guide illustré de formation. Cirad 2000 ISBN 2-87614-399-2, Pp, 1-15.

Price E.C., Cheremisinoff P.N. (1981). Biogaz – Production & Utilisation. Michigan, USA. Ann Harbor Science, Pp, 146.

Références Bibliographiques

- Rahman S. Kasapis, N.S.Z. Al-Kharusi, I.M. Al-Marhubi, A.J. Khan (2007).** Composition characterisation and thermal transition of date pits powders. *Journal of food engineer*, May 2007, Pp, 1-10.
- Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B.M., and Williams, R.B. (2008).** Current Anaerobic Recovery. *Biochemical Conversion Processes. Anaerobic Digestion.*
<http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/Organics/2008011.pdf>
- Rasapoor M., Young B., Brar R., Sarmah A., Zhuang W., Baroutian S. (2020).** Recognizing the challenges of anaerobic digestion: Critical steps toward improving biogas generation. *Fuel*, vol. 261: Pp, 116497.
- René M. (2009).** La méthanisation', Edition Tec & Doc. Pp, 3-4.
- Robinson M.L., Brown B. et Williams C.F. (2012).** The date palm in the southern Nevada. University of Nevada Cooperative Extension. Extension college of Agriculture Biothnology and Natural Resources, SP-02-12 .<https://naes.agnt.unr.edu/PMS/Pubs/2002-3222.pdf>
- Sabah AA., Jassim A., Naji (2007).** In vitro Evaluation of the Antiviral Activity of an Extract of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Pits on a *Pseudomonas* Phage; Evid Based Complement Alternat Med; 7(1): Pp, 57–62.
- Saber M. (2013).** Les procédés de digestion anaérobie pour la production du Biogaz. *Bulletin des Energies Renouvelables*. N°28. Pp, 3.
- Sangkhom I., Daovang C., Sengsuly P., Leng R.A. (2013).** TR Preston. Fermentation of fruit waste in an anaerobic batch digester", *Livestock Res. Rural. Dev.*, vol. 25: Pp, 8.
- Sedra MH. (2003).** Le Palmier Dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc: Techniques phoénicoles et Création d'oasis. Éd. INRA. Maroc. Pp, 265.
- Sigot L. (2014).** Épuration fine des biogaz en vue d'une valorisation énergétique en pile à combustible de type SOFC – Adsorption de l'octaméthylcyclotétrasiloxane et du sulfure d'hydrogène. Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Soutenue le 20 Octobre 2014. Pp, 232.

Références Bibliographiques

Sunyoto NMS., Zhu M., Zhang D., Zhang, Z. (2017). Effect of Biochar Addition and Initial pH on Hydrogen Production from the First Phase of Two-Phase Anaerobic Digestion of Carbohydrates Food Waste, *Energy Procedia*, vol. 105: Pp, 379–384.

Tahri A., Mounzar H., Djaafri M., Kaidi K. (2020). Improvement of the methane yield from the sludge by co-digestion with dromedary dung in the city of Adrar in Algeria. *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, vol. 82 (3) : Pp, 65-72.

Tang J., Wang X.C., Hu Y., Pu Y., Huang J., Hao H., Zeng Y., Li Y. (2019). Nutrients removal performance and sludge properties using anaerobic fermentation slurry from food waste as an external carbon source for wastewater treatment. *Bioresour. Technol.*, vol. 271 : Pp, 125-135.

Tou I., Igoud S., Touzi A. (2001). Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. Vol. 5 (2002)123-128. Pp 128.

Tsapekos P. Kougiass P.G., Angelidaki I. (2015). Biogas production from ensiled meadow grass; effect of mechanical pretreatments and rapid determination of substrate biodegradability via physicochemical methods. *Bioresour. Technol.*, vol. 182: Pp, 329-335.

Uhl et Dransfield j. (1987). *Genera palmarum: A classification of palms based on the work of Harold E. and Moore J.*, Hortorium and International Palm Society, Allen Press, Lawrence, Kansas. Pp 233

United-Tech, Inc. (2003). Anaerobic Digestion. In United-Tech. BZT Waste Digester, <http://www.united-tech.com/wd-anaerobicdigestion.html>

Université Sorbonne. B media. <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/datte.htm>.

Wellinger A. Jerry, M., Baxter D. (2013). The biogas handbook, science, production and applications. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. Pp, 476.

Yolo County. (2008). Toward a Twenty-first Century Landfill Yolo County's Accelerated Anaerobic and Aerobic (Controlled Landfill Bioreactor) Composting Projects. In Site du Yolo County, Full-scale bioreactor, <http://www.yolocounty.org/Index.aspx>

Références Bibliographiques

Zegnoui A. (2010). Magister en Hydraulique Option : Mobilisation et protection des ressources en eau, Développement d'un modèle dynamique sous matlab pour un processus anaérobie de traitement des eaux. Soutenue, Janvier 2010: Pp, 9.