

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES

--TLEMCE--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية

-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Management Industriel et Logistique

Présenté par : Fatima Zohraa Bachiri

Thème

Amélioration des performances de distribution des produits dérivés de la datte en Algérie

Soutenu publiquement, le .. /09/2020, devant le jury composé de :

M : SOUIER MEHDI	MCA	ESM. Tlemcen	Président
M : MOHAMMED BENNEKROUF	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M : MALIKI FOUAD	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M : BARAHAMI MUSTAPHA	MAA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciements :

CE TRAVAIL A ÉTÉ RÉALISÉ AU DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL TLEMCEM, IL N'AURAIT PAS PU VOIR LE JOUR SANS DE NOMBREUSES PERSONNES QUE JE VOUDRAIS REMERCIER MES PLUS VIFS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT À MON ENCADREUR MR BENNEKROUF MOHAMMED POUR M'AVOIR DONNÉE L'OCCASION DE RÉALISÉ CE TRAVAIL SOUS SA DIRECTION, POUR SON AMABILITÉ, SA GENTILLESSE, POUR SON SOUTIEN CONTINU ET POUR AVOIR CRU EN MOI MÊME DANS LES MOMENTS LES PLUS DIFFICILES.

JE NE TROUVERAI JAMAIS LES MOTS LES PLUS APPROPRIÉS POUR EXPRIMER LA RECONNAISSANCE QUE JE LUI PORTE POUR TOUS SES PRÉCIEUX CONSEILS, POUR SES ENCOURAGEMENTS ET POUR TOUTES LES FOIS QU'ELLE A TROUVÉ LE TEMPS NÉCESSAIRE POUR M'ÉCOUTER.

MON PÈRE ET MA MÈRE, QUI M'ONT TOUJOURS APPORTÉ AIDE, SOUTIEN ET CONSEILS.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail tout d'abord à mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de sacrifier pour mon bien, pour mon bonheur et pour trouvé le chemin de ma vie, que le bon dieu les garde pour moi

À mon cher frère

À mes chères sœurs

À toute ma famille

À mon mari S.A.M.I.R

. À ma belle famille

À toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin.

Avant propos

Les dattes constituaient un aliment fondamental pour les musulmans

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: .

كما ثبت عنه "من تصبح كل يوم بسبع تمرات عجوة لم يضره في ذلك اليوم سم وال سحر
"صلى الله عليه وسلم:"من تصبح بسبع تمرات، لم يضره ذلك اليوم سم وال سحر

« Celui qui commence sa journée par manger sept dattes ne sera lésé ni par un poison ni par un envoûtement. » Dans une variante, il dit : « Quiconque mange, chaque matin, sept dattes adjoua, ne sera atteint par aucun poison jusqu'au soir. »
[Rapporté par Mouslim.]

وعن عائشة رضي الله عنها أنها قالت:

" قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: "أل يجوع أهل بيت عندهم التمر

Les occupants d'une maison qui ne contient pas des dattes ont toujours faim
Rapporté par Mouslim.] De plus, le prophète (صلى هلالا عليه وسلم) recommandait à
ses compagnons de mâcher les dattes et les faire goûter aux nouveau-nés

عن أبي موسى رضي الله عنه قال: ولد لي غالم فأتيت بيه النبي صلى الله عليه وسلم
فسماه إبراهيم فحنكه بتمره ودعا له بالبركة.

Sommaire

Introduction générale.....	1
I. Chapitre01 : Généralités.....	2
1. L'économie et l'écologie :.....	2
1.1. L'économie linéaire :.....	2
1.2. L'économie circulaire :.....	2
2. Valorisation des déchets organique :.....	3
2.1. Généralité sur le palmier dattier :.....	3
2. 2. Systématique.....	4
3. Morphologie.....	4
4. Phénomènes responsables de la dégradation de la qualité des dattes.....	5
4.1. Altérations microbiennes.....	5
4.2. Altérations non microbiennes.....	6
4.3. Brunissement des dattes.....	7
4.4. Formation des taches de sucres.....	7
4.5. Infestation par les insectes.....	8
5. Propriétés pharmacologiques et cosmétiques des dattes.....	8
a) Propriétés anti-ulcéreu :.....	9
b) Régulation du tractus gastro-intestinal :.....	9
c) Propriétés immunostimulantes :.....	10
d) Propriétés anti oxydantes et antimutagènes :.....	11
e) Propriétés anti tumorales.....	11
f) Propriétés antihyperlipidémiques :.....	12
g) Hépatoprotection :.....	12
h) Néphroprotecteur :.....	12
i) Propriétés antifongiques :.....	13

b) Croissance microbienne.....	25
4. Définition de la levure boulangère type (saccharomyces cerevisiae).....	26
a) Morphologie et Structure.....	26
b) Le métabolisme fermentaire des (saccharomyces cerevisiae).....	27
c) Conditions de croissance.....	27
d) Les besoins nutritionnels de la levure	27
2. Influence des paramètres environnementaux sur la croissance des micros organisme (SC).....	28
a) Effet de la température.....	28
b) Effet du pH.....	28
c) Rôle d'O ₂	28
6. Récupération et purification des produits de fermentation	
7. Récupération du bioéthanol (distillation).....	29
8. Purification du bioéthanol.....	29
a) Culture en Fed-Batch	30
b) Fermentation Batch.....	30
c) Fermentation en mode continu.....	30
d) Production d'alcool.....	30
9. Production d'alcool.....	31
9.1. Pré-fermentation.....	31
9.2. Distillation alcoolique.....	31
10. Techniques analytiques.....	31
11. DOMAINES D'UTILISATION D'ÉTHANOL.....	32
12. POURQUOI CE PROJET EST SI INTÉRESSANT?.....	32
13. DÉBOUCHÉS :.....	32
II. Chapitre 03 :	
Montage d'une unité de valorisation des dattes par transformation :.....	33
1. Projets de production de bioéthanol à l'échelle nationale.	33
2. Le bioéthanol de 2ème génération : est-il une réalité industrielle et économique ?.....	33

3. Les avantages et les inconvénients du bioéthanol	34
4. Description des technologies.....	34
4.1. Fabrication de l'alcool des dattes.....	35
4.2. Transformation des sous-produits.....	35
5. Etude financière.....	35
5.1. Choix du site de l'implantation de l'unité	36
6. Modalités d'approvisionnement de l'unité en dattes...36	
7. Moyens nécessaires.....	37
7.1. Investissements physiques.....	37
7.2. Matériel et équipement de production.....	38
7.3. Matériel de bureau.....	39
7.4. Frais de formation.....	40
7.5. Achat des emballages et étiquettes.....	41
7.6. Besoins en énergie et en eau.....	42
7.7. Fonds de roulement.....	43
7.8. Ressources financières.....	44
7.9. Chiffre d'affaire.....	45
8. Evolution du marché mondial.....	47
I. Chapitre 0 4:.....	48
1. Les modèles et les résultats :.....	50
➤ Définition de logiciel (cplex) :	53
1.1. Le modèle mathématique 1 :.....	54
1. 2. Les indices :.....	54
2. 1.3. Les entrees de programme :.....	55
3. 4. Les valeurs des entrées :.....	55
4. 1.5. Les sorties (Variables de décision) :.....	59
Conclusion général.....	76

LISTE DES FIGURES

Fig. 1: Répartition de la production de dattes dans la wilaya d'Adrar.....	3
Fig 2 : représentation schématique du concept de l'économie circulaire..	6
<i>Fig. 3. Insectes infestant les dattes (Source : Harrak, 2011).....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 4. Générations de la pyrale au cours d'une année (Source : Fatni, 2003).....</i>	<i>12</i>
<i>Fig.5. Possibilités de valorisation agro-industrielle des dattes (Source : Estanove, 1987).....</i>	<i>15</i>
Fig. 6. Transformations technologique et biotechnologique de la datte (Source : Ouahjoui, 2010).....	16
<i>Fig. 7. Produits à base de dattes mis au point au niveau du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech (INRA) (Photo : Hasnaâ Harrak).....</i>	<i>24</i>
Fig. 8: Substrat de fermentation.....	29
Fig. 9: Dispositifs de la fermentation alcoolique.....	32
Fig. 10: Fermentation alcoolique.....	33
Fig. 11: Fermentation alcoolique.....	34
Fig.12. Les phases de la croissance bactérienne en mode discontinu...	35
Fig.13. La structure morphologique et les constituants de la levure type (saccharomyces cerevisiae).....	39
Fig. 14: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique.....	40
Fig.15. Dispositif expérimental de la fermentation alcoolique.....	49
Fig. 16 : PROCESSUS DE TRANSFORMATION et DOMAINES D'UTILISATION D'ÉTHANOL.....	50

LISTE DES TABLEAU

Tableau 1. Produits industriels issus de bioprocédés.....	6
Tableau 2.les éléments nutritifs consommé par le (saccharomyce cerevisiae) lors de sont métabolisme fermentaire.....	13
Tableau 3. Avantages et les inconvénients du bioéthanol.....	16
Tableau 4. Différents locaux de l'unité de transformation des dattes en l'alcool avec les estimations des superficies et des prix.....	17
Tableau 5. Matériel et équipement de production de l'unité de transformation des dattes en l'alcool avec les estimations des quantités et des prix.....	40
Tableau 6. Matériel de bureau de l'unité de transformation des dattes en confiture et sirop avec les estimations des prix.....	40
Tableau 7. Quantités et coûts du matériel d'emballage, d'étiquetage et de stockage de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	41
Tableau 8. Salaires annuels du personnel de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	42
Tableau 9. Consommation d'électricité au niveau de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	42
Tableau 10. Coût des besoins en eau et en électricité de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	43
Tableau 11. Compte courant mensuel de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	43
Tableau 12. Fonds de roulement pour le premier trimestre de fonctionnement de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	44
Tableau 13. Récapitulatif des besoins en capitaux et financement.....	44
Tableau 14. Chiffre d'affaire de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.....	45
Tableau 15 : Les valeurs des entrées.....	59

Tableau 16. nombre de bouteilles fabriquées (nc3).....	60
Tableau 17. nombre de bouteille vendu (nv3).....	61
Tableau 18. nombre de bouteilles stockées (ncs).....	62
Tableau 19 : le nombre des caisses entrantes au niveau de l'usine (QRL4)	
Tableau 20 : le nombre des caisses livrées de l'entrepôt vers l'usine (QRL3).....	64
Tableau 21 : le nombre des caisses entrantes au niveau de l'entrepôt (QCE).....	65
Tableau 22 : la quantité vendue dans tous les périodes(QV2).....	65
Tableau 23 : la quantité sortie de fumigation (QSF2).....	66
Tableau 24 : la quantité en caisse arrivée à l'entrepôt(QRT2).....	66
Tableau 25 : le tableau qui détermine la quantité récolter zone(QR2)...	67
Tableau 26 : la quantité récoltée désigné à l'entrepôt (QRL2).....	68
Tableau 27 : le tableau qui détermine le nombre de palmier récolté par zone (npro).....	69
Tableau 28 : le nombre des boites stocké (NBS2).....	69
Tableau 29 : le nombre des boites produites (nb2).....	69
Tableau 30 : la quantité récolte par caisse (n2).....	70
Tableau31 : le tableau qui déterminé le nombre de manouvre disponible (nm).....	71

INTRODUCTION

L'industrie de la transformation des produits agricoles et souvent confrontée à plusieurs solutions :

- L'alimentation animale : elle est la plus ancienne méthode d'utilisation des résidus de fruit ;
- Epandage et compostage : fabrication de fertilisants
- Production d'énergie par incinération ou par production de biogaz ;
- Récupération de différents constituants incorporable dans de nouveaux produits agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques (Grigoras, 2013) ;
- Production du charbon.

De nos jours, les réserves en pétrole brut et les capacités de raffinage limitées, et l'inquiétude grandissante, en ce qui concerne la dégradation de l'environnement, offrent d'excellentes perspectives au bioéthanol. Il est probablement la source d'énergie alternative pour les véhicules et la plus utilisée au monde. Selon la directive 2003/30/CE, l'utilisation du bio alcool vise à promouvoir l'utilisation de biocarburants, présentant un double intérêt: économique et écologique.

L'éthanol, produit à partir de matières ainsi biologiques renouvelables, demeure la principale source d'énergie dans les transports sachant que c'est un carburant dont la combustion est plus propre que celle de l'essence ou du diesel.

En Algérie les cultivars de dattes sont nombreux et sont estimés à plus de 800. Ces ressources génétiques sont très mal exploitées à l'exception de Deglet Nour et à degré moindre, Ghars, Degla Beida et Mech Degla qui présentent une importance économique majeure .Par contre, le secteur phoénicicole de la région d'Adrar fournit chaque campagne un tonnage très élevé de dattes communes estimé à environ 675 milles quintaux (DSA, 2008), malgré cela la valeur marchandise des dattes communes reste faible, avec une quantité très importante exportée vers le Mali et le Niger sous forme de troc. Toutefois une certaine quantité est consommée localement, soit par la population, soit destinée à l'alimentation du bétail, la faible quantité restante est commercialisée vers les autres wilayates limitrophes.

Les dattes à part leur grande richesse en sucres et leur pouvoir de conservation relativement longue peuvent constituer un substrat de choix pour produire de nombreuses substances à forte valeur ajoutée tel que l'éthanol. Ce dernier issu d'un procédé biotechnologique de fermentation anaérobie est d'une importance économique indéniable du fait qu'il est utilisé dans des secteurs variés et vitaux.

Selon le bilan de campagne phoénicicole de la Direction des Services Agricoles (DSA, 2008) pour l'année 2008 à Adrar, il existe 3.673.399 palmiers avec une production d'environ 675.504 quintaux, ce qui est représentée sur la figure 1.

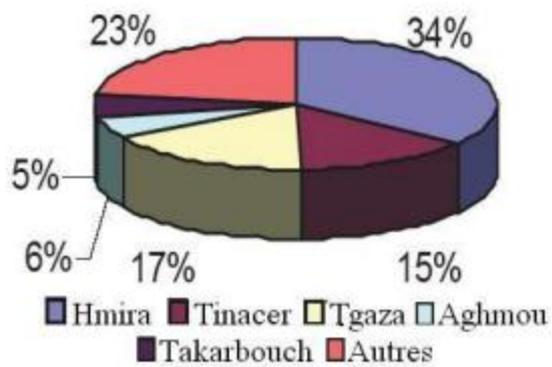


Fig. 1: Répartition de la production de dattes dans la wilaya d'Adrar

III. Chapitre01 : Généralités

La gestion durable des déchets consiste en la récupération, le recyclage et la réutilisation tels que les déchets verts, agroalimentaires et agricoles. C'est derniers

sont de la matière abandonnée, or la matière étant elle-même source d'autre matière (Lacour, 2016). Des activités de production et de consommations industrielle et consommateurs reconnaissent aujourd'hui que le traitement des déchets constitue l'enjeu écologique de cette fin de siècle, et que la mise en place d'une véritable filière économique du traitement des déchets s'impose (Belaib, 2012). La valorisation peut contribuer à plusieurs aspects, tels que la conservation des ressources, les couts économiques, le gaspillage alimentaire, impacts environnementale et sécurité alimentaire. Ces problèmes se produisent principalement dans les pays en développement, où la biomasse agricole et les restes sont laissés à se décomposer dans les champs ou brûlés comme moyens de fertilisation (Goossens, 2017).

1. L'économie et l'écologie :

1.1. L'économie linéaire :

L'économie linéaire issue de la révolution industrielle, repose sur la chaîne «extraction de matières, production d'un bien, consommation de ce bien, production de déchets », la viabilité d'une économie fondée sur ce modèle a commencé à être remise en cause au moment où la communauté internationale a pris conscience que les ressources que l'homme exploite se raréfient (Lacour, 2016). Au cours des 25 dernières années, l'économie mondiale a quadruplé, mais à l'inverse, 60% des biens et des services environnementaux mondiaux majeurs dont dépendent les moyens d'existence se sont dégradés ou ont été utilisés sans souci de durabilité, parce que la croissance économique des ressources naturelles sans laisser aux stocks le temps de se reconstituer, au prix de la dégradation de l'environnement et de la perte généralisée d'écosystèmes (PNUE ,2011).

1.2. L'économie circulaire :

La transition vers une économie circulaire appelle une consommation sobre et responsable des ressources naturelles et des matières premières primaires ainsi que, en priorité, un réemploi et une réutilisation et, à défaut, un recyclage des déchets, des matières premières, secondaires et des produits. La promotion de l'écologie industrielle et de la conception écologique des produits, l'allongement de la durée du cycle de vie des produits, la prévention des déchets, des polluants et des substances toxiques, le traitement des déchets en respectant la hiérarchie des modes de traitement, la coopération entre acteurs économiques à l'échelle territoriale pertinente, le développement des valeurs d'usage et de partage et de l'information sur leurs coûts écologique, économique et social contribuent à cette nouvelle prospérité. L'économie circulaire ne se définit pas seulement par des termes, idéalistes comme le recyclage. L'économie circulaire s'efforce de maximiser ce qui est déjà utilisé tout au long du cycle de vie d'un produit (Cheikh et al, 2016). Le concept d'économie circulaire naît de l'idée selon laquelle un déchet peut, une fois convenablement traité, redevenir une ressource, formant ainsi une boucle dans

la chaîne de production et de consommation. Elle repose donc sur deux idées élémentaires : la prise de conscience que ce qui est considéré comme déchet peut être réutilisé comme ressource, à l'image des processus à l'œuvre dans les cycles naturels, d'une part ; la nécessité de dissocier la croissance économique et exploitation des ressources naturelles, d'autre part.

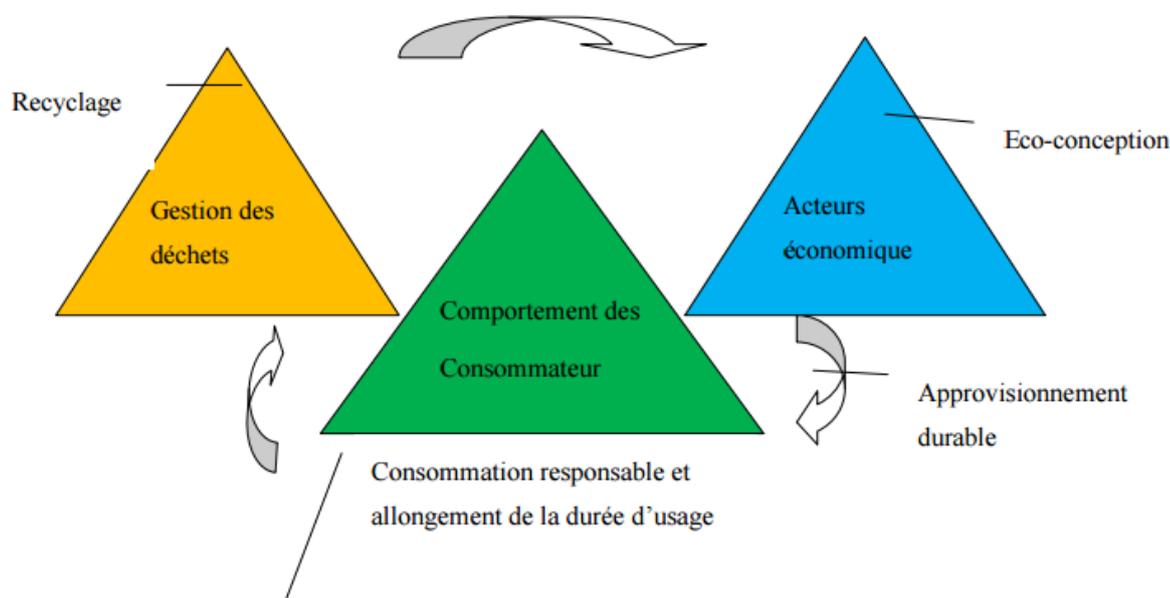


Fig 2 : représentation schématique du concept de l'économie circulaire

Concrètement, l'économie circulaire se base donc sur :

- Le réemploi : le cycle de vie d'un produit ne démarre plus de la case « ressource naturelle » pour aboutir systématiquement à la case « déchet » ;
- Le recyclage : les matériaux sont réutilisables ;
- L'écologie industrielle: les déchets d'une industrie deviennent les matières premières d'une autre ;
- L'éco conception : dès sa conception, chaque étape du cycle de vie du produit est prise en compte afin de minimiser les impacts environnementaux et favoriser le réemploi.

2. Valorisation des déchets organique :

L'industrie de la transformation des produits agricoles et souvent confrontée a plusieurs solutions :

- L'alimentation animale : elle est la plus ancienne méthode d'utilisation des résidus de fruit ;
- Epandage et compostage : fabrication de fertilisants ;
- Production d'énergie par incinération ou par production de biogaz ;

- Récupération de différents constituants incorporable dans de nouveaux produits agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques (Grigoras, 2013) ;
- Production du charbon

2.1. Généralité sur le palmier dattier :

L'Algérie est un pays phénico classée au sixième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture avec 160000 ha et plus de 2 millions de jardins (Adrar, 2016). Le palmier dattier est (*Phoenix dactylifera* L) est une monocotylédone arborescente des palmacées cultivé dans les zones arides (Benguega, 2006). Le fruit du palmier dattier est le plus exporté après le pétrole, il se compose du péricarpe charnu et de la graine qui constituent approximativement 10 à 15% de la masse totale de la datte (Benaouf et Kati, 2010). Le mot « phœnix » dérive de nom dattier chez les Grecs qui considéraient comme Généralités 6 l'arbre des phéniciens et « dactylifera » vient de latin dactylus dérivant du grec dactylis, signifiant doit, en raison de la forme du fruit (Asbi, 2013).

2.2. Systématique

La classification botanique du palmier dattier donnée par (Djerbi, 1994) est la suivante:

Groupe : Spadiciflore.S ; ·

Embranchement : Angiospermes ;

· Classe : Monocotylédones ; ·

Ordre : Palmales ; ·

Famille : palmoe ; ·

Tribu : Phoenixées ; ·

Genre : Phoenix ; ·

Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

Le genre Phoenix comporte au moins douze espèces, la plus connue est le *dactylifera*, dont les fruits « dattes » font l'objet d'un commerce international important (Espiard, 2002).

2. Morphologie

C'est un grand palmier de 20 à 30 m de haut, 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 males ou femelles, les fleurs femelles aux trois carpelles sont indépendantes, et une seule se développe pour former la datte (le fruit).

3. Phénomènes responsables de la dégradation de la qualité des dattes

3.1. Altérations microbiennes

Les micro-organismes responsables de l'altération des dattes appartiennent à 3 groupes : levures, moisissures et bactéries. Parmi celles-ci, les levures sont d'une grande importance économique. Les espèces *Zygosaccharomyces* sont les plus tolérantes pour les concentrations élevées en sucres que d'autres espèces rencontrées dans les dattes. Elles sont suivies des espèces *Hansenula*. La contamination des dattes par les levures peut être détectée par une odeur alcoolique. Les levures (qui forment des agrégats blancs) peuvent souvent être observées dans les fissures de la peau des dattes très fermentées. Des poches de gaz peuvent se former sous la peau, la pulpe peut être décolorée et la flaveur est remarquablement altérée.

Les moisissures ont un petit effet dans l'altération des dattes emballées pour la commercialisation sauf dans les lots très humides. Elles peuvent causer de grandes pertes avant et juste après la récolte du fruit si les pluies ou les périodes à humidité élevée ont lieu à ce moment. Les espèces *Aspergillus*, *Alternaria* et *Penicillium* sont les moisissures les plus répandues dans les dattes. Le développement des moisissures peut être détecté par le mycélium, les spores, la couleur, l'odeur et la flaveur.

Le rôle des bactéries dans l'altération des dattes n'a été déterminé avec aucun degré de certitude. *Acetobacter* est reconnu convertir l'alcool produit par les levures en acide acétique ; l'odeur de vinaigre est parfois prononcée dans les dattes altérées. Dans ce cas, les dattes

sont déjà impropres à la commercialisation avant que la bactérie ne devienne active. Les bactéries lactiques ont été considérées parmi les causes possibles de l'altération progressive des dattes.

L'importance économique de l'altération causée par les bactéries, comparée à l'altération causée par les levures et les moisissures, est selon toute vraisemblance extrêmement faible. La population bactérienne des dattes à la récolte est dans le même ordre de grandeur que celle des moisissures.

3.2. Altérations non microbiennes

A côté des dégradations dues aux micro-organismes, les dattes peuvent brunir, devenir sirupeuses, développer des taches de sucres, perdre leur flaveur, devenir très sèches ou très humides ou développer une texture granulaire désagréable. Les changements hydrolytiques, comprenant l'inversion du saccharose en sucres réducteurs (fructose et glucose ou sucre inverti), se produit plus rapidement à des températures et des humidités élevées. Les mêmes conditions sont valables pour

la production des acides. La plupart de ces acides sont produits par les réactions non oxydatives et non enzymatiques. L'acidité augmente même si les dattes ont été chauffées comme en hydratation ou traitées par un fongicide volatile tel que l'oxyde d'éthylène. Les dattes fermentées ont considérablement plus d'acides que les dattes saines. Ceci est le résultat de la transformation bactérienne de certains alcools en acide acétique.

A côté de ces altérations, on retrouve les attaques de déprédateurs extérieurs de la datte notamment les insectes.

4.3. Brunissement des dattes

Le brunissement des dattes est causé par plusieurs mécanismes :

- Brunissement enzymatique oxydatif impliquant les composés phénoliques simples comme les dérivés des flavines-3,4-diols et l'acide dactyliférique (réaction faisant intervenir les polyphénolases).
- Brunissement oxydatif non enzymatique impliquant des poly phénols complexes (tanins insolubles) comme les polymères des dérivés des flavanes-3,4-diols
- Brunissement non-oxydatif non enzymatique faisant intervenir les sucres réducteurs et les groupements aminés, de type Maillard.

Il y a une corrélation positive entre le degré du brunissement et l'augmentation de la teneur en humidité, la température et la durée de stockage. L'intensité du brunissement varie également sans doute avec la variété et le traitement antérieur.

Le brunissement oxydatif peut être réduit par le stockage dans une atmosphère à gaz inerte ou sous vide. Le brunissement général peut être retardé par la diminution de la température de stockage et la diminution du taux d'humidité. Il peut être également réduit par l'inactivation des enzymes (traitement thermique).

3.3. Formation des taches de sucres

La formation des taches de sucres réduit la valeur commerciale par l'altération de l'aspect des dattes affectées plutôt qu'en les rendant inconsommables. Les taches légèrement colorées au-dessous de la peau sont composées principalement des cristaux de sucres et peuvent être éliminées par un chauffage doux. Cependant, elles peuvent réapparaître au stockage si les conditions sont favorables pour leur formation. Parfois, des cristaux fins de sucres sont formés sur la surface des dattes et ils sont aussi facilement éliminés par un chauffage doux.

La formation des taches de sucres est limitée presque entièrement aux dattes à sucres invertis (sucres réducteurs) et apparaît rarement dans les types de dattes à saccharose comme Déglet-Nour. Cependant, les cristaux de sucres peuvent se former à l'intérieur de la pulpe de Déglet-Nour quand elle vieillit. Les dattes

Déglet-Nour qui ont les taches de sucres n'ont pas une teneur élevée anormale des sucres réducteurs. En effet, l'analyse de telles dattes montrent que seulement 25 % de sucres sont sous forme de sucres réducteurs.

La température et la teneur en eau influencent le développement des taches de sucres dans une variété donnée. La diminution de la température au-dessous de la température ambiante habituelle réduit le taux de formation. Les variétés molles des dattes sont plus protégées de la formation des taches de sucres quand le pourcentage d'humidité est élevé au niveau 20. Peu ou pas de formation de taches a probablement lieu dans les dattes avec un taux d'humidité plus élevé que 33 % environ et elle diminue quand l'humidité descend au-dessous de 22 %.

4.4. Infestation par les insectes

Les insectes de stockage s'ils sont laissés sans contrôle, peuvent dévaster les dattes de point de vue quantitatif et qualitatif. Les insectes les plus répandus sont les pyrales (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller., *Plodia interpunctella* Hbn., *Cadra cautella* Walk. et *Cadra figulilella* Greg.) et les charançons (*Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium confusum* et *Carpophilus* spp.)

Parmi ces insectes, les pyrales causent le plus de dégâts. Elles s'attaquent aux fruits mûrs aussi bien sur le palmier avant la récolte qu'au cours de leur stockage dans les magasins ou les entrepôts. Le développement des insectes au cours du stockage est favorisé par un taux initial d'infestation élevé avant le stockage (œufs), une température et une humidité de l'air de stockage élevé et un niveau d'humidité des dattes élevé. Les dattes subissent ainsi des dommages très importants dus aux chenilles. L'estimation des dégâts aux champs à la maturité avant la récolte se chiffre entre 1 et 4 %, mais les dommages réels aux lieux de stockage sont 10 fois plus élevés (de 30 % à 40 % de pertes parmi les récoltes de dattes à l'Algérie).

Les dommages des dattes sont le résultat d'alimentation par les larves en développement à l'intérieur du fruit, en laissant un résidu de «frass» (matières fécales) et de sangles.



Fig. 3. Insectes infestant les dattes (Source : Harrak, 2011).

Le calendrier (Fig. 4) présente les générations chevauchantes de la pyrale au cours d'un cycle (une année). La troisième génération coïncide avec la maturité des dattes.

Les variétés à maturité précoce comme Ahardane et Tadment sont généralement les plus attaquées tandis que celles à maturité tardive comme Jihel et Bousthammi noire sont les moins attaquées.

Plusieurs méthodes de lutte sont recommandées dans le but de réduire les infestations et par conséquent les pertes occasionnées aux champs et aux lieux de stockage. Parmi les mesures prophylactiques et hygiéniques de lutte contre les insectes infestant les dattes, on trouve :

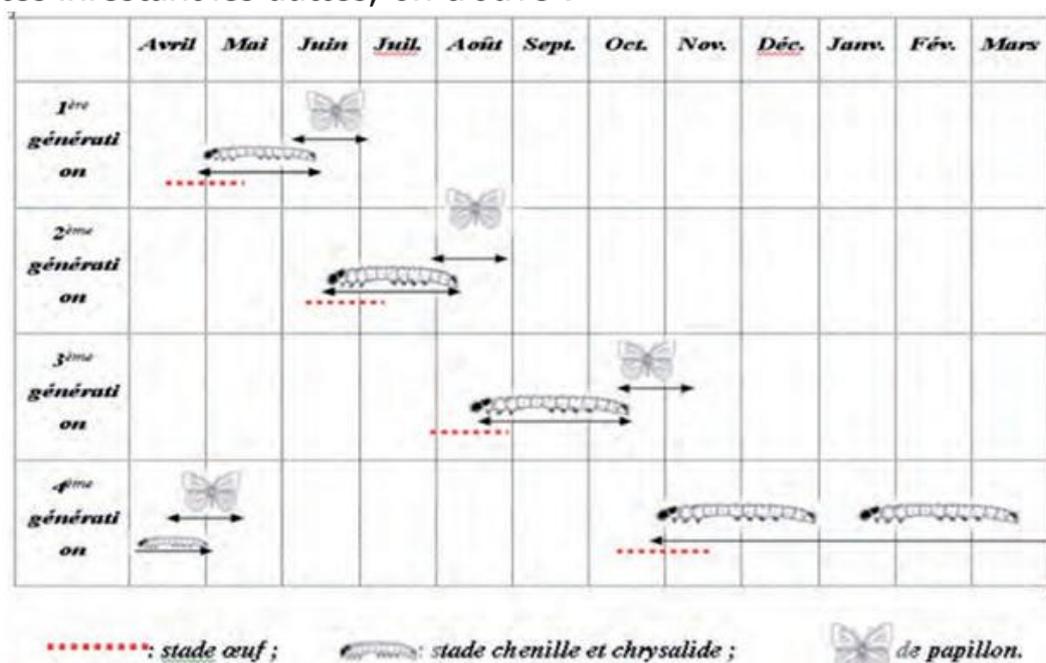


Fig. 4. Générations de la pyrale au cours d'une année (Source : Fatni, 2003).

4. Propriétés pharmacologiques et cosmétiques des dattes.

La datte présente également des propriétés pharmacologiques et cosmétiques très intéressantes ouvrant des voies prometteuses de valorisation de ce fruit par les industries pharmaceutiques et cosmétiques. Parmi ces propriétés, nous citons :

a) **Propriétés anti-ulcéreux :**

Les dattes sont utilisées traditionnellement chez l'homme dans les cas d'ulcères. Certains composants des dattes, comme les pro anthocyanidines, flavonoïdes, cyanidine- 3-glucoside, b-carotène, b-sitostérol et sélénium sont connus pour leurs propriétés gastroprotectrice et pourraient être à l'origine de l'activité antiulcéreuse

des dattes. En outre, l'action gastroprotectrice des dattes serait multifactorielle et probablement due à une action antioxydant.

b) Régulation du tractus gastro-intestinal :

Les dattes sont régulièrement consommées dans les pays arabes où il a été bien souvent remarqué qu'elles accélèrent la motilité intestinale chez l'homme. Le mécanisme d'action n'a pas encore été identifié mais il semblerait être lié à la forte teneur des dattes en fibres qui ont des propriétés laxatives. Par ailleurs, les dattes contiennent du saccharose qui pourrait également être impliqué dans l'accélération dose-dépendant du transit gastro-intestinal (TGI).

c) Propriétés immunostimulantes :

En Inde, il est fréquent de donner aux femmes, après la délivrance, des fruits secs tels que les amandes et les dattes. Il est suggéré la consommation de la datte par les personnes ayant un système immunitaire affaibli, comme les femmes en post-partum. Des études expérimentales ont par ailleurs mis en évidence l'action immunostimulante de composés comme le sélénium, les caroténoïdes, la quercétine, le kaempférol et l'isorhamnétine qui font partie de la composition des dattes.

d) Propriétés anti oxydantes et antimutagènes :

Lorsque les cellules de l'organisme sont exposées à un taux élevé de substances oxydantes, les mécanismes de défense naturels peuvent être insuffisants. Il y a alors un risque d'oxydation des acides nucléiques, protéines, lipides et sucres, conduisant à des désordres métaboliques tels que l'athérosclérose, carcinogénèse, cirrhose, fibrose et inflammation. De nombreuses études ont mis en évidence une forte relation entre l'alimentation et la prévention de maladies causées par un stress oxydant. Il a été démontré que la consommation élevée de fruits et de légumes est associée à un risque réduit de maladies causées par les radicaux libres.

La datte est utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement de maladies infectieuses et de cancers notamment. A travers un essai réalisé in vitro afin d'évaluer l'activité antioxydants et antimutagène d'un extrait aqueux de la pulpe de dattes, ces dernières ont montré de puissantes activités antioxydante et antimutagène. D'autres études ont conforté l'activité antioxydante de différentes variétés de dattes en mettant en évidence l'implication des composés phénoliques, flavonoïdes, procyanidines, caroténoïdes et sélénium.

Lors de la maturation du fruit, la teneur en antioxydants diminue du fait de la déshydratation de la pulpe puisque plusieurs antioxydants sont solubles dans l'eau, mais les dattes sèches conservent néanmoins une quantité appréciable. La conservation des dattes au frais permet de maintenir une bonne concentration en antioxydants.

e) Propriétés anti tumorales :

Des études ont montré que les glucanes isolés de dattes libyennes ont des effets antinéoplasiques sur des sarcomes-180 implantées chez des souris. Il a été observé une activité anticancéreuse dose-dépendante avec une activité optimale à la dose de 1 mg/ kg. Cette activité antitumorale serait corrélée à la liaison (1[®]3)-b-D-glucane. Depuis quelques années, les (1[®]3)-b-D-glucanes attirent l'attention des chercheurs à cause de leur action inhibitrice sur la croissance de certaines tumeurs chez les animaux.

f) Propriétés antihyperlipidémiques :

Des études ont révélé l'action cardioprotectrice et antihyperlipidémique de l'acide caféique, du b-sitostérol, des pro anthocyanidines, de la catéchine, de la quercétine, des anthocyanes et du sélénium, contenus dans les dattes.

g) Hépatoprotection :

L'étude de l'effet protecteur d'un extrait de dattes sur le foie de rats exposés au diméthoate a montré que les dattes ont amélioré les dommages histologiques provoqués par le diméthoate sur le foie des rats. Ces effets pourraient être dus à la présence dans les dattes de sélénium, anthocyanes, acide férulique, acide caféique, quercétine, acide chlorogénique, b-carotène, pro anthocyanidines, apigénine et lutéoline, dont les propriétés protectrices du foie ont été validées par des études expérimentales.

h) Néphroprotecteur :

La prise de certains médicaments analgésiques, antibiotiques, cytostatiques et autres peut induire une néphrotoxicité qu'il est important de prévenir ou d'améliorer. Des études ont montré que le sélénium et la quercétine possédaient des effets protecteurs sur la néphrotoxicité induite par la gentamicine chez des rats. La datte contient d'autres antioxydants comme la mélatonine, la vitamine E et l'acide ascorbique qui peuvent également être à l'origine de cet effet protecteur.

i) Propriétés antifongiques :

Les effets antifongiques in vitro d'un extrait de dattes (la variété Berhi) sur la structure de *Candida albicans* ont concerné l'altération de la paroi du champignon. A de fortes concentrations, on observe des dommages plus importants avec fuite du matériel cytoplasmique, conduisant dans certains cas à la mort cellulaire. Ces résultats suggèrent que l'action des dattes impliquerait divers mécanismes qu'il conviendrait d'étudier dans des essais ultérieurs. Ils suggèrent également une possible utilisation future des dattes à des fins thérapeutiques. Des études préalables réalisées in vitro ont mis en évidence l'action antifongique des flavonoïdes sur *Candida albicans* et *Candida krusei*. Leur présence dans l'extrait de dattes peut être à l'origine des effets observés.

j) Propriétés anti-inflammatoires :

Une étude a montré que des extraits méthanolique et aqueux de pulpe de dattes et un extrait méthanolique de noyaux de dattes ont eu un effet anti-inflammatoire chez un modèle de rats atteints d'arthrite. L'administration orale d'extrait de pulpe, méthanolique et aqueux, a supprimé l'inflammation au niveau des membres inférieurs de 67,8 et 61,3 % respectivement. L'extrait de noyaux a également montré une réduction significative de 35,5 %. Les résultats ont révélé une augmentation des taux plasmatiques d'antioxydants (vitamines C, E, A et b-carotène) et une diminution des taux de lipides peroxydés. De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés anti-inflammatoires de certains constituants des dattes : proanthocyanidine, flavonoïdes, polyphénols, b-carotène et sélénium, qui sont probablement à l'origine de ces effets.

k) Propriétés antivirales :

Un extrait de noyaux de dattes a été utilisé afin d'évaluer son activité antivirale contre le phage ATCC 14209-B1 du *Pseudomonas aeruginosa* 25668 utilisé comme cellule hôte. Les noyaux de dattes ont montré une forte capacité à inhiber le caractère infectieux du phage et ont totalement prévenu la lyse bactérienne. Au vu de ces résultats encourageants, les essais devraient se multiplier sur les noyaux de dattes. Il serait par ailleurs intéressant d'étudier leur action sur des virus responsables de maladies chez l'homme.

l) Propriétés anti hémolytiques :

Une étude réalisée in vitro a montré qu'un extrait de dattes ralentissait la croissance de *Streptococcus pyogenes*. L'incubation de la bactérie pendant 24 h avec l'extrait de dattes à 5, 10 et 20 % a entraîné des diminutions respectives de 30,8 %, 64,7 % et 88,5 % du nombre de bactéries, en comparaison au groupe témoin sans dattes. De plus, à de faibles concentrations, l'extrait de dattes a neutralisé l'activité hémolytique de la streptolysine O, une endotoxine présente à la surface du streptocoque. L'extrait de dattes agit probablement par stabilisation de la membrane érythrocytaire et par inhibition de la streptolysine O. Des études réalisées indépendamment ont démontré que les anthocyanes, caroténoïdes, procyanidines et flavonoïdes présents dans les dattes disposaient de propriétés protectrices des membranes.

m) Gonadotrope :

Les dattes sont utilisées depuis longtemps en médecine traditionnelle comme ingrédients de préparations toniques et aphrodisiaques. Cette utilisation a été validée par des études scientifiques. L'utilisation d'extraits de dattes chez des porcs provenant de Guinée a augmenté la numération des spermatozoïdes. Par ailleurs, elle a stimulé la spermatogenèse et elle a augmenté la concentration de testostérone, FSH et LH chez les rats. Les composants des dattes, tels que la génistéine, la

vitamine A et le sélénium, ont été reconnus pour leurs fonctions protectrices des testicules contre diverses sources de stress et pour leur activité gonadotrope.

n)Autres usages de la datte dans la médecine traditionnelle :

L'eau dans laquelle ont été trempées des dattes est une boisson utilisée dans les cas d'intoxication à l'alcool. Le lait imbibé de dattes fraîches serait très nourrissant pour les enfants ainsi que les adultes après un épisode de fièvre. Les dattes sont également bénéfiques dans les cas d'asthme et de dysenterie. La consommation de dattes est d'ailleurs recommandée car elles favoriseraient l'expectoration et apaiseraient la poitrine. En effet, le sirop de dattes très concentré, portant le nom de « Tahlaout ou Robb », est très utilisé dans les affections pulmonaires. Il est en outre utilisé pour apaiser et endormir les enfants et employé dans les maladies nerveuses. Quant aux diarrhées, elles sont traitées par les dattes vertes tonifiantes.

Pilées dans de l'eau, les dattes sont réputées pour soigner les hémorroïdes, la constipation et l'ictère (jaunisse). En infusion dans du lait bouilli, les dattes traitent les rhumes, et en gargarisme, les maux de gorge. Les cataplasmes à base de dattes, du mil (*Pennisetum glaucum*) et du fruit de *Solenostemma argel* calment les douleurs rhumatismales.

Les dattes sont bien souvent conseillées aux femmes qui allaitent et permettent de lutter contre les anémies et les déminéralisations. Les noyaux broyés fournissent une poudre qui aurait des propriétés stimulatrices du cuir chevelu. Les dattes seraient par ailleurs efficaces contre les piqûres de scorpion et les morsures de serpent en traitement externe associé à une consommation du fruit.

Dans l'oasis de Tafilalet, le palmier dattier est parmi les plantes les plus utilisées traditionnellement pour le traitement de l'hypertension et du diabète sucré. Les parties utilisées du palmier dattier sont les feuilles et le fruit. Les feuilles sont infusées et la pulpe est consommée telle quelle ou sous forme de poudre.

5. Définition de la technologie de la datte

La technologie de la datte est le moyen adéquat pour conserver et améliorer la qualité de la datte. Elle recouvre toutes les opérations qui, de la récolte à la commercialisation, ont pour objet de conserver aux fruits toutes leurs qualités et de transformer ceux qui ne sont pas consommés, ou consommables, en l'état, en divers produits, bruts ou finis, destinés à la consommation humaine ou animale et à l'industrie. Les technologies de la datte les plus utilisées et connues à l'échelle internationale.

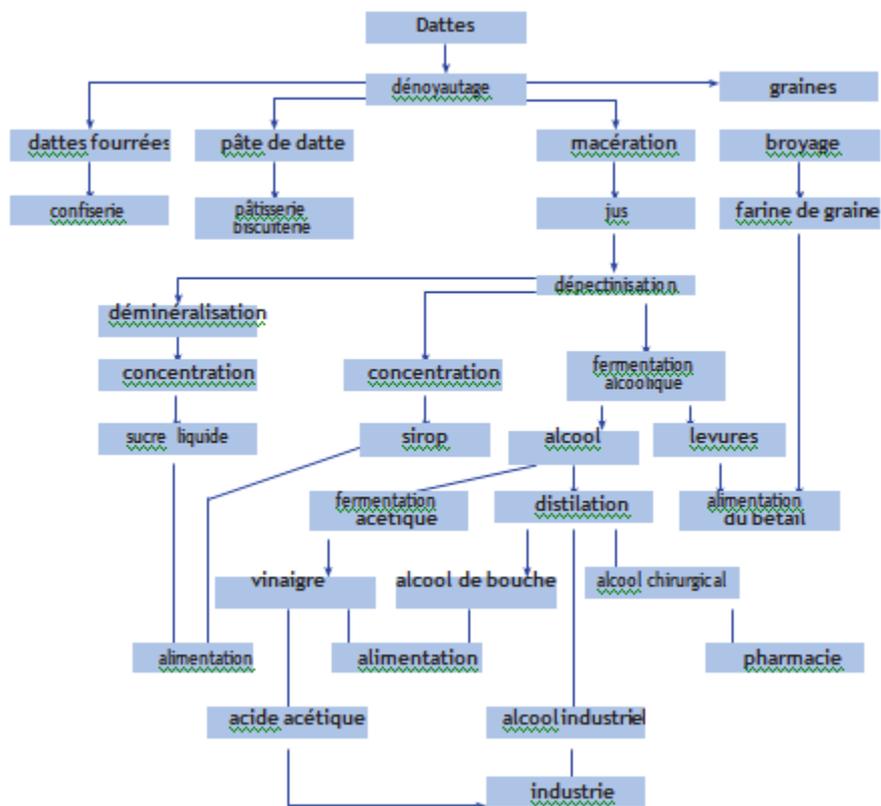


Fig.5. Possibilités de valorisation agro-industrielle des dattes (Source : Estanove, 1987).

6.2. Transformations industrielles de la datte

Dans le domaine de la transformation industrielle de la datte, la et pratiquement innombrable. La liste suivante, indicative seulement donne les actions possibles de transformation de la production dattiers avec les produits dérivés de la datte :

- la diversification des productions : pâte, farine, confiture, dattes fourrées, etc. ;
- la transformation des dattes : sirop, boissons, vinaigre, alcool chirurgical ou industriel, levures, etc. ;

L'utilisation des déchets de dattes : sucre, aliments de bétail, méthanisation, etc...

Globalement, on peut distinguer deux types de transformation de dattes : Transformations technologiques (techniques basées sur des procédés industriels de transformation de la datte) et transformations biotechnologiques (techniques visant à réaliser des applications industrielles de la bioconversion et de la transformation des substances organiques de la datte)

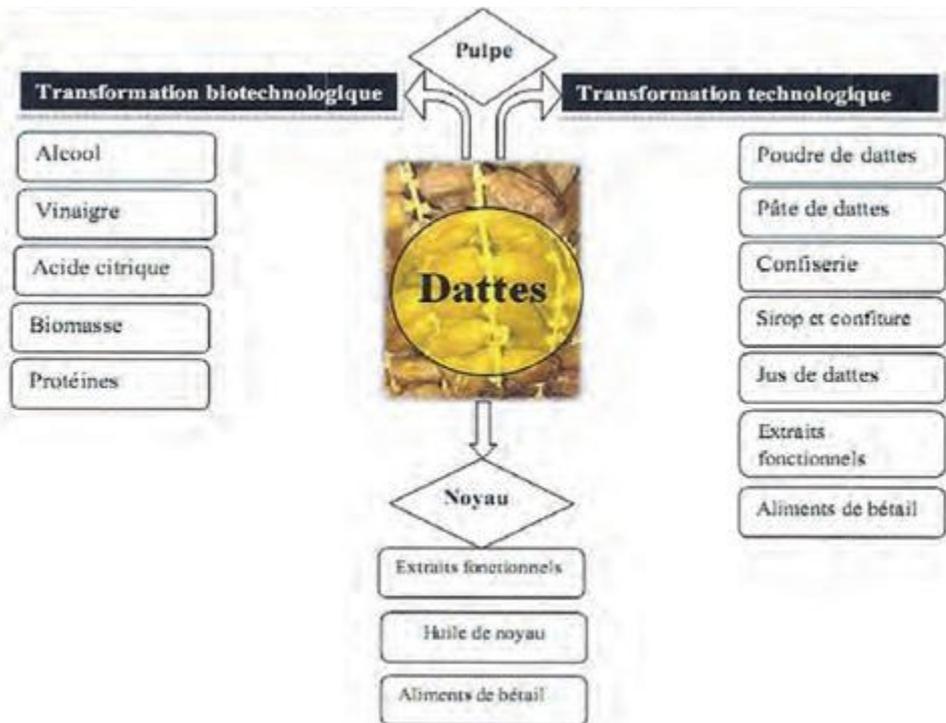


Fig. 6. Transformations technologique et biotechnologique de la datte (Source : Ouhajjou, 2010).

6.2.1. Valorisation technologique

6.2.1.1. Pâte de dattes

Les dattes molles et demi-molles peuvent servir à la confection de pâte. On ajoute de la farine de dattes ou de sirop de dattes pour leur donner une consistance convenable. Elle est utilisée en biscuiterie, en pâtisserie et pour la confection de glaces (Munier, 1973).

6.2.1.2. Farine de dattes

La farine des dattes est obtenue à partir des dattes séchées. Après nettoyage, les dattes sont dénoyautées et coupées puis séchées jusqu'à humidité inférieure à 5 %. Compte tenu de sa richesse en sucres, cette farine est utilisée en biscuiterie, en pâtisserie et dans la préparation de nombreux produits alimentaires (Munier, 1973).

6.2.1.3. Jus de dattes

La fabrication de jus de dattes est connue depuis l'antiquité dans les pays de Moyen orient où on trouve une grande quantité de datte de qualité médiocre destinée à la transformation (Chaira et al., 2007). Concernant la préparation de jus, les pulpes de datte sont finement hachées et une quantité d'eau est ajoutée (Mahjoub et Jraidi, 1992), le mélange est ensuite incubé au bain-marie selon un couple temps-température donnée. Puis, on procède à une étape de filtration suivie d'une clarification pour éliminer les déchets et les solides insolubles. D'après Episard (2002), on peut obtenir après six à dix heures de diffusion, selon la variété, un jus

titrant à environ 50 % d'extrait sec soluble mesuré au réfractomètre. Le jus de datte peut être utilisé dans nombreuses préparations alimentaires telles que les boissons gazeuses, le vinaigre, l'alcool, etc (Estanove, 1990).

6.2.1.4. Sirop de dattes

Les dattes de qualité secondaire, trop molles ou écrasées, peuvent être utilisées pour la fabrication du sirop (Munier, 1973 ; El-Sharnouby et al., 2009 ; Mostafa et al., 2012). Ce produit bien que d'aspect sombre, est stable et est utilisé comme édulcorant dans de nombreuses préparations pâtisseries et peut également servir comme base à la production de boissons gazeuses et peut remplacer aussi le sucre dans la préparation des crèmes glacées (Mahjoub et Jraïdi, 1992).



Fig. 7. Produits à base de dattes mis au point au niveau du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech (INRA) (Photo : Hasnaâ Harrak).

5.2.2. Valorisation biotechnologique

Les sous-produits de dattes riches en sucres fermentescibles, peuvent être transformés par des procédés biotechnologiques pour obtenir des biopolymères, de biofuel, des acides organiques, des enzymes et autres produits de valeur.

6.2.2.1. Production de biopolymères

Le jus de dattes (sous-produits), constitue un milieu favorable pour la production de biopolymères, comme la gomme xanthane (Besbes et al., 2006), le curdlan (Salah et al., 2011). Le sirop des dattes est valorisé par production des caroténoïdes (Elsanhoty et al. 2012) et de PHB (Omar et al., 2001).

6.2.2.2. Production d'acides organiques

Davati et al. (2007) et Tavakkoli et al. (2012), ont montré que le déchet des dattes constitue un bon milieu pour la production d'acide citrique.

6.2.2.3. Production d'antibiotiques

Des chercheurs ont réussi à produire des antibiotiques à partir des sous-produits de dattes. Abou-Zeid et al.(1991) ont produit d'oxytétracycline par *Streptomyces rimosus*. Ils ont trouvé que l'ajout de l'urée comme source d'azote et les cendres de noyau de dattes, comme source minérale permettent d'améliorer la production de l'antibiotique. En utilisant le sirop des dattes Radhwan et al. (2010), ont produit de Bleomycine par *Streptomyces mobaraensis*.

6.2.2.4. Production de biomasse

Les sous-produits de dattes peuvent servir comme substrat pour la production de levure boulangère (khan et al., 1995).

6.2.2.5. Production des enzymes

Des travaux ont été entrepris par des chercheurs qui ont montré qu'un substrat à base de sous produits des dattes, constitue un milieu de culture favorable à la production des enzymes, comme le Pectinase (Qureshi et al., 2008), l'endopectinase (Bari et al., 2010) et l' α -amylase (Acourene et Ammouche, 2012). Des travaux ont été entrepris par des chercheurs qui ont montré qu'un substrat à base de sous produits des dattes, constitue un milieu de culture favorable à la production des enzymes, comme le Pectinase (Qureshi et al., 2008), l'endopectinase (Bari et al., 2010) et l' α -amylase (Acourene et Ammouche, 2012).

6.2.2.6. Production de Bio fuel

Différents types de biofuels ont été produits à partir des sous-produits de dattes, comme le dihydrogene (Abd-Alla et al., 2011), l'éthanol (Gupta and Kushwaha, 2011; Acourene et Amouche, 2012 ; Louhichi et al., 2013) et le butanol (Abd-Alla et El-Enany, 2012). Cette partie sera développée dans le chapitre III « Production de Biofuel ».

Chapitre : 02

Production de l'alcool

3 MATERIELS ET METHODES

1.1. Matière végétale

A la base de l'enquête sur terrain et les données de la DSA, nous avons choisi les deux variétés des dattes communes les plus dominantes (Hmira et Tinacer) dans la région d'Adrar pour faire la fermentation alcoolique, en plus de Kaciene (fruit de datte formé après une male fécondation).



Datte sèche



Datte sèche dans les sacs

Fig. 8: Substrat de fermentation

1.2. Matériel biologique

La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée. Elle est conservée dans un endroit frais et sec. Cette souche est utilisée pour la production d'éthanol.

1.3. Dispositifs utilisés pour la fermentation alcoolique

Les dispositifs utilisés sont présentés par les deux photographies suivantes:



Fig. 9: Dispositifs de la fermentation alcoolique

4. Méthodologie de travail

2.1. Préparation du moût de dattes

Après lavage, l'imbibition des dattes est faite à l'aide d'une eau chaude (90 à 95 °C) afin de faciliter le dénoyautage. Le broyage des pulpes est effectué par la suite. L'eau d'imbibition riche en sucre sera utilisée comme eau de dilution du moût. Les dattes -ainsi traitées- sont ensuite diluées à raison de 200 g de pulpes pour 800 ml d'eau. Le pH du moût est ajusté entre 4.3 et 4.7 par l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1N). Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures.

2.2. Procédé de la fermentation alcoolique

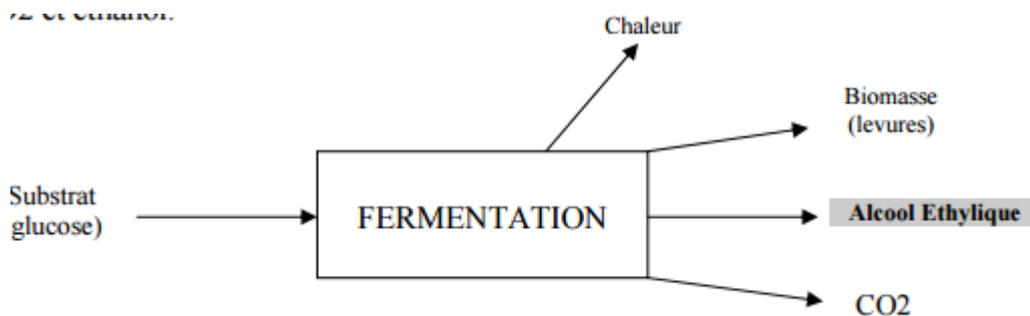


Fig. 10: Fermentation alcoolique

Après ensemencement du milieu par la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) .le bio réacteur est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé.

Sucres + Levures == Ethanol + CO₂ + Energie

Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques et détecter l'odeur de l'alcool dans le moût. Après 72 heures, la fermentation est arrêtée. Pour chaque variété de dattes, l'opération de fermentation est répétée trois fois dans le but d'obtenir une valeur moyenne représentative des différentes analyses. Au cours de la fermentation, nous avons suivi:

- L'acidité du moût à l'aide d'un pH mètre;
- Le taux de glucose;
- L'évolution de la couleur et de l'odeur du moût;
- Le degré alcoolique;
- La densité du milieu réactionnel;
- Détermination de la cendre.



Fig. 11: Fermentation alcoolique

5. Micro-organismes utilisés en fermentation

La fermentation est mise en œuvre dans des bioréacteurs (ou fermenteurs) qui assurent la croissance des micro-organismes et qui élaborent des réactions biologiques (réactions à cellules). Celles-ci sont généralement catalysées par des substances particulières appelées enzymes. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques appartenant à la classe des protéines qui sont des macromolécules résultant de la polycondensation d'acides aminés.

c) Souches microbiennes

Les micro-organismes naturels, constituant un ensemble très varié (bactéries, levures, champignons microscopiques, cellules animales et végétales) constitue un réservoir extraordinaire d'agents capables à la mise en œuvre de bioprocédés

industriels. Le **Tableau II.2** donne succinctement les produits industriels obtenus à l'aide de ces microorganismes.

Tableau 1. Produits industriels issus de bioprocédés

Type de micro-organismes	produit	Secteur d'utilisation
levure	Pain, vin, bière, sauce de soja	Alimentation
bactéries	Pain, yaourt, vinaigre	
moisissures	Fromage, camembert	
Bactéries	Antibiotique, hormones	pharmaceutique
Moisissures	Antibiotiques	
Cellules de mammifères	interféron	
Levures	Enzyme	Agro-alimentaire
moisissures	enzyme	
Levures	Ethanol	Intermédiaires chimiques
Bactéries	Acétone, butanol	
moisissures	Acide citrique	
bactéries	bio insecticide	pesticides

d) Croissance microbienne

La courbe de croissance microbienne en mode discontinu fait apparaître différentes phases Figure 12.

La phase de latence : elle correspond à une période d'adaptation métabolique du microorganisme au milieu. Elle est réduite au maximum en fermentation industrielle.

La phase exponentielle de croissance : c'est la phase au cours de laquelle la vitesse spécifique de croissance μ_{expo} est maximale. La quantité de nutriments est en excès et la biomasse augmente donc le plus rapidement. Les produits formés au cours de cette phase sont les métabolites primaires. Tant que n'apparaît pas de facteur limitant la croissance, la phase exponentielle se poursuit.

La phase stationnaire : elle apparaît après une phase de ralentissement. Elle fait suite à la consommation des nutriments et à la présence de déchets microbiens.

La phase de déclin : elle correspond à la diminution de la biomasse qui est liée à une lyse cellulaire.

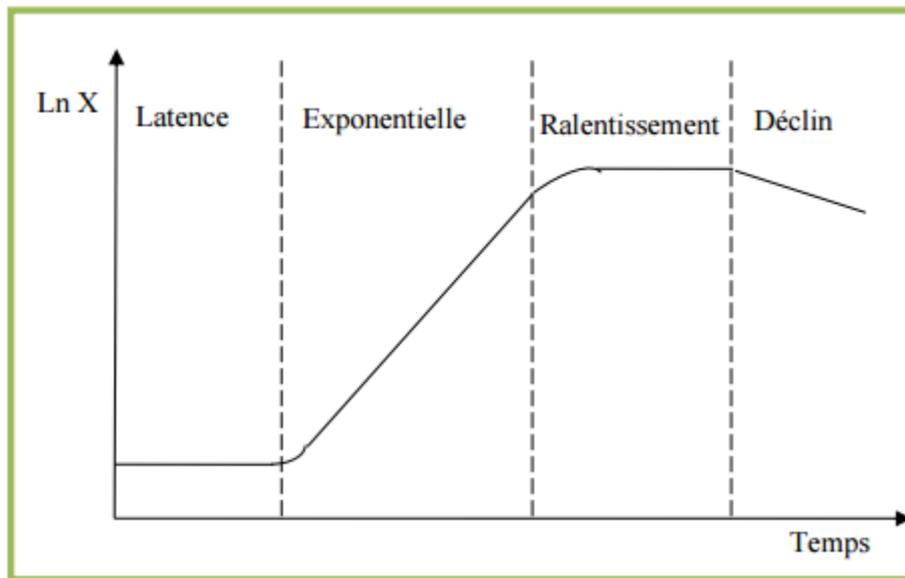


Fig.12. Les phases de la croissance bactérienne en mode discontinu

6. Définition de la levure boulangère type (*saccharomyces cerevisiae*)

Les levures peuvent être définies comme des eucaryotes microscopiques. Elles sont des Hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leur caractère Unicellulaire et l'absence de vrai mycélium (au moins dans la plus grande partie de leur cycle biologique) largement distribuées dans la nature. Elle a été découverte, isolée et ntifiée au milieu du XIXème siècle. Ce champignon, capable de métaboliser des sucres, (saccharo-) responsable de la fermentation fut appelé *Saccharomyces cerevisiae* par Mayen en 1837.

e) Morphologie et Structure

Les levures se caractérisent par la présence d'un :

- Noyau.
- Mitochondrie.
- Appareil de Golgi.
- Chromosomes.

Les cellules végétatives sont généralement ovoïdes ou sphériques. Leur taille cellulaire varie de quelques microns jusqu' à 25 à 30 microns.

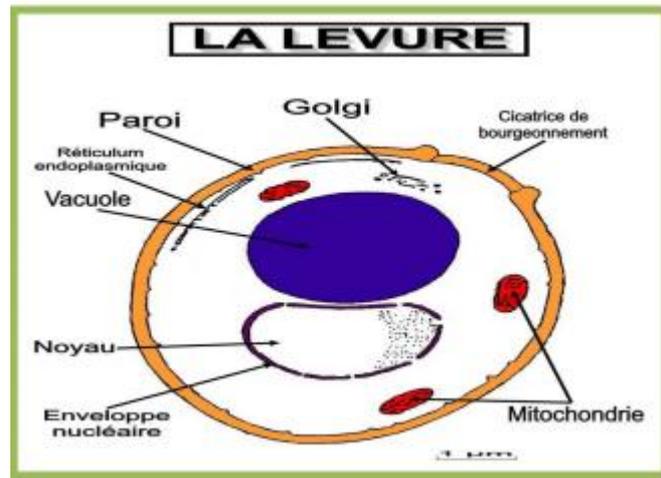


Fig.13. La structure morphologique et les constituants de la levure type (saccharomyces cerevisiae)

f) Le métabolisme fermentaire des (saccharomyces cerevisiae)

En absence totale d'oxygène, (*Saccharomyces cerevisiae*) présente un métabolisme fermentaire. L'oxygène n'est plus l'accepteur final d'électrons, ce rôle est joué par des molécules organiques comme l'acétaldéhyde. Comme pour le métabolisme oxydatif, le glucose est dégradé par la voie de la glycolyse jusqu'au pyruvate. A ce niveau là, le pyruvate n'est plus dirigé vers le cycle de Krebs mais est converti en éthanol et CO₂. La première étape est la décarboxylation du pyruvate en acétaldéhyde par la pyruvate décarboxylase, puis la réduction finale de l'acétaldéhyde en éthanol est catalysée par l'alcool déshydrogénase utilisant le NADH, H⁺ comme coenzyme. Le métabolisme fermentaire produit beaucoup moins d'énergie que le catabolisme aérobie et le cycle de Krebs n'a qu'un rôle anabolique (synthèse de précurseurs), seule la synthèse d'éthanol permet la production d'énergie nécessaire aux besoins de la cellule et la ré-oxydation du NADH produit lors de la glycolyse.

g) Conditions de croissance

Dans nos expériences de fermentation on a utilisé la culture en discontinu (batch) La croissance se traduit par l'augmentation en taille et en nombre pour assurer le développement il faut fournir aux micros organisme les nutriments nécessaires.

d) Les besoins nutritionnels de la levure

Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins énergétiques de la levure. La biomasse est composée principalement d'eau et des éléments CHON (carbone, hydrogène, oxygène, azote) ; le milieu doit donc fournir ces éléments pour permettre la croissance. Les besoins des levures pour leur croissance sont les suivants :

Tableau 2.les éléments nutritifs consommé par le (saccharomyce cerevisiae) lors de sont métabolisme fermentaire

Les éléments nutritifs	exemples
L'eau	Les levures sont constituées de 75% d'eau et 25% de matière sèche
Une source de carbone	représente environ 50% du poids sec de la levure
une source d'azote	Les levures contiennent 10% environ d'azote, entrant dans la composition des acides aminés, des acides nucléiques et de certaines vitamines. Il est apporté par le milieu de culture sous la forme de sels d'ammonium (phosphate, sulfate, chlorure et nitrate)
une source des vitamines	des régulateurs et des cofacteurs importants des voies métaboliques. Elles agissent généralement comme coenzymes ou précurseurs d'enzymes. Saccharomyces cerevisiae est auxotrophe pour les vitamines suivantes qui seront ajoutées au milieu de culture
des oligo-éléments (ions inorganiques)	les macroéléments : K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Zn ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mn ²⁺ , Cl ⁻ dont la concentration nécessaire varie entre 0,1 et 1 mm.
	les micro-éléments : Co ²⁺ , B ²⁺ , Cd ²⁺ , Cr ⁺ , Cu ²⁺ , I ⁻ , Mo ⁺ , Ni ²⁺ pour lesquels une concentration de 0,1 à 100 µM est suffisante

7. Influence des paramètres environnementaux sur la croissance des micros organisme (SC).

d) Effet de la température

A température faible l'activité cellulaire microbienne peut être bloquée, l'élévation de la température augmentera la vitesse de croissance (métabolisme cellulaire sera plus actif à la température plus élevée) la température optimale est comprise entre [23-28].

e) Effet du pH

Un facteur très important pour la croissance de la levure (saccharomyces cerevisiae) qui détermine l'activité métabolique de la cellule. Saccharomyces cerevisiae présente l'avantage de croître sur milieux acides pour lesquels la plus part des bactéries ne se développent pas. La fermentation alcoolique se déroule à un pH acide (pH 4,5à5).

f) Rôle d'O2

Il important pour la synthèse des acides gras insaturés et des stérols qui protègent les levures du stress alcoolique chez les (saccharomyces cerevisiae) l'O2 est indispensable pour assurer la survie des levures et l'épuisement complet des sucres

en présence de concentration élevée en éthanol son apport doit être continu tout au long de la culture.

8. Récupération et purification des produits de fermentation

Après fermentation, on obtient divers produits qu'il faut séparer et récupérer. Parmi ces produits, il y a le bioéthanol qui se forme dans la solution en faible concentration. Il est nécessaire de le récupérer par distillation ou rectification et éventuellement une déshydratation pour éliminer toute trace d'eau.

9. Récupération du bioéthanol (distillation)

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

10. Purification du bioéthanol

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

e) Culture en Fed-Batch

La culture en Fed-Batch s'est déroulée sur une période de 15 heures dans un fermenteur est d'une capacité de trois litres muni de tous les accessoires et est rempli au 2/3 de son volume. La température de fermentation est maintenue à 30°C et le pH est fixé à 4.5. L'agitation est de 300 tours par minute et une aération fixée à 2 V.V.M. Le débit d'alimentation du fermenteur en substrat est réglé de façon à ce que la concentration de ce dernier soit constante dans la cuve et corresponde à la phase logarithmique de croissance cellulaire.

Il est à noter qu'on a ajouté au milieu de fermentation pur la production de *Saccharomyces cerevisiae* en Fed-Batch, différentes sources d'azote et de vitamines.

L'ammonium (S.A), urée et sulfate d'ammonium à 50 - 50 %, Phosphate d'ammonium (D.A.P) et l'ammoniaque.

Les vitamines utilisées sont : Biotine, Pantothénate de calcium et Thiamine.

f) Fermentation Batch

La culture en mode batch permet de considérer le réacteur comme un système fermé contenant une quantité fixée de milieu de culture, on inocule avec des microorganismes ayant éventuellement subi plusieurs phases d'adaptation. La culture en mode batch est caractérisée par une productivité faible, limitée par les concentrations en biomasse liée à la concentration maximale admissible en substrat évitant toute inhibition des capacités fermentaires du microorganisme.

g) Fermentation en mode continu

Le réacteur en mode continu est un système ouvert, dans lequel le milieu de culture est continûment additionné et le milieu de fermentation qui contient les métabolites produits, est continûment extrait, avec un volume réactionnel constant (Ward, 1989). La fermentation en mode continu peut combiner une cuve et un système de recyclage cellulaire ; dans ce cas une fraction de la biomasse cellulaire est recyclée dans la cuve (Lee et Chang, 1987 ; Warren et al., 1994; Djelal et al., 2012a). La fermentation en mode continu permet l'obtention de productivités élevées (Vasconcelos et al., 2004), facilite le contrôle du procédé et la maîtrise des rendements. Les inconvénients de ce mode de conduite est la limitation du taux de dilution afin d'éviter le lessivage du réacteur ainsi que l'inhibition du métabolisme (croissance et production) par les produits de la réaction biochimique et la perte de viabilité. En ce sens, plusieurs techniques ont été couplées telles que l'évaporation, l'extraction avec des solvants et filtration membranaire (Kargupta et al., 1998) comme cela est développé dans le paragraphe suivant.

9. Production d'alcool

9.1. Pré-fermentation

Elle a pour objet de développer une forte population de *Saccharomyces cerevisiae*. Ainsi, les souches entretenues sur milieu gélosé incliné subissent une réactivation sur milieu de Carlsberg. A cet effet, dans un Erlenmeyer de 250 ml de volume, nous mettons 30 ml de milieu de Carlsberg stérilisé à 120 °C pendant 20 minutes puisensemencés après refroidissement à partir de la souche conservée dans un tube gélosé incliné. La quantité de souche utilisée est d'un µg. L'incubation se fait à 30°C pendant 24 heures, en aérobiose et sous agitation continue à raison de 45 oscillations par minute.

9.2. Distillation alcoolique

A la fin de la fermentation, le vin de dattes obtenu est distillé afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78 °C . La figure 5, représente le diagramme des différentes étapes de fabrication de l'éthanol

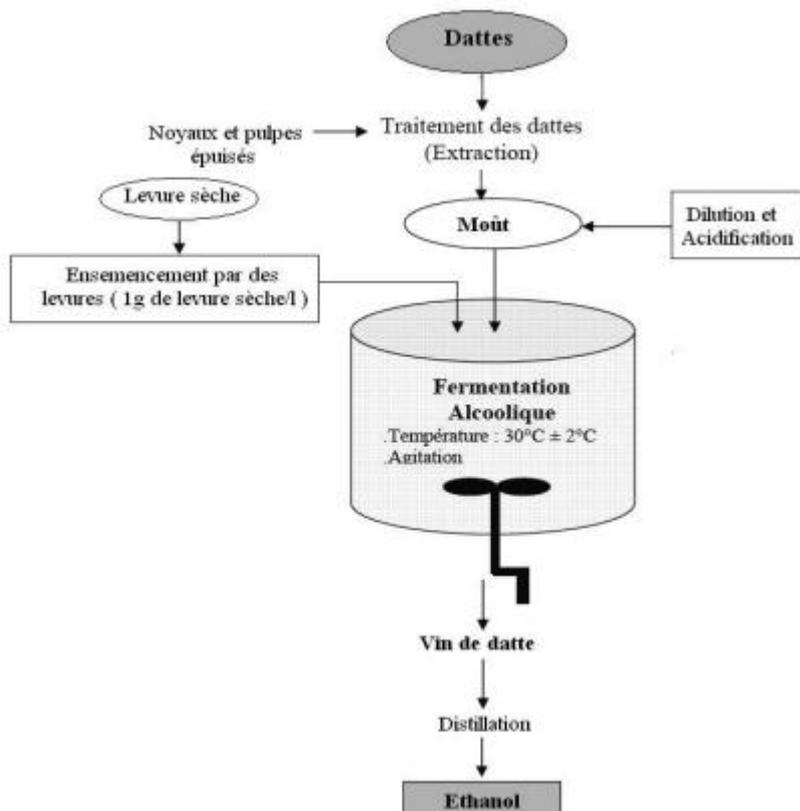


Fig. 14: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique

10. Techniques analytiques

● Détermination du pH

La détermination du pH, est essentielle pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation. Sa variation nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure au cours la transformation des sucres en alcool. La détermination du pH s'effectue par une lecture directe à l'aide d'un pH-mètre (Marque Hanna).

● Détermination de la densité

La densité est le rapport entre la masse d'un corps et celle d'un même volume d'eau (densité de l'eau = référence = 1). La densité a été déterminée en utilisant un pycnomètre de capacité 10 cm³.

● Détermination du taux de cendres

Les cendres totales sont déterminées par incinération. Un étuvage à 105 °C pendant 24 heures des échantillons, est suivi par une calcination au four à moufle pendant 2 heures à 600 °C.

• Dosage des sucres réducteurs

Les sucres réducteurs sont dosés par titrimétrie par la liqueur de Fehling. Le principe de la méthode consiste à faire réagir un excès de solution cupro-alcaline sur les sucres. Ces derniers sont séparés par décantation de l'oxyde cuivreux, puis traités par une solution de sulfate ferrique (0.02N). Le titrage se fait à l'aide d'une solution de permanganate de potassium (0.015N). Une table donne la correspondance entre le volume versé de permanganate de potassium et la masse de glucose.

• Dosage de l'alcool

Le dosage de l'alcool au cours de la fermentation est effectué par aérométrie. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé, puis mesurer, à la température ambiante, le degré du distillat à l'aide d'un alcoomètre (gradué de 0 à 100°).

• Mesure du Brix

Le Brix est une mesure de l'extrait sec soluble total (Sucres). Il est mesuré par un réfractomètre. La détermination du Brix est basée sur la capacité des sucres d'un jus à faire dévier la lumière. Un réfractomètre mesure le Brix par un pourcentage Brix en graduations de 0,1 pour cent. Certains réfractomètres compensent automatiquement les changements de température alors que d'autres peuvent être étalonnés pour une lecture précise à une température fixe (généralement 20 °C). Dans le présent travail, le Brix des jus de betterave et des dattes est déterminé par un réfractomètre du type ATAGO RX-5000.

• . Mesure du pH

La détermination du pH, est essentielle pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation. Sa variation nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure au cours la transformation des sucres en alcool. La détermination du pH s'effectue par pH-mètre de type Inolab pH 7110.

• Mesure de la matière sèche

La matière sèche (substrat) est déterminée sur un échantillon de 10 ml de jus par dessiccation à l'étuve à une température de 105 °C jusqu' à l'obtention d'un poids constant [69]. Elle est exprimée en pourcentage est égale à :

$$MS(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_2 - M_0} \times 100$$

M0 est la masse de la capsule vide (g),

M1 est la masse de capsule et du résidu après dessiccation (g),

M2 est la masse de la capsule et de la prise d'essai (g).

- **. Mesure de la densité**

La densité d'un liquide est le rapport entre la masse volumique de ce liquide et celle de l'eau prise à 4 °C (1000 kg/m³). Dans ce travail, la masse volumique du bioéthanol a été déterminée par pesée (m) d'un volume connu (V) de bioéthanol à 20 °C. Le rapport m/V donne alors la valeur de la masse volumique de l'alcool qui permet d'accéder à la densité recherchée.

- **Quantité de biomasse**

La quantité de biomasse de levures évoluant au cours de la fermentation est importante à connaître. Elle permet de suivre la croissance des micro-organismes afin d'estimer la qualité de l'opération de fermentation. Une fois celle-ci terminée, le milieu de fermentation est récupéré et filtré. La phase solide est centrifugée à 3500 tours/min pendant 15 minutes. Le culot obtenu est lavé deux fois avec de l'eau distillée puis centrifugé à nouveau. Le culot est alors pesé pour déterminer le poids en biomasse fraîche. Après séchage à 75 °C durant 24 h Le poids sec est déterminé.

- **Mesure de la pression du CO₂**

Le CO₂ résultant de la fermentation suite à la dégradation des sucres présents dans le substrat peut être mesuré. La méthode utilisée dans le présent travail est la détermination de la pression du gaz par déplacement de liquide. La Figure 15 montre le montage permettant d'effectuer la mesure de la pression du CO₂. Le fermenteur est relié par l'intermédiaire d'un tube à un erlenmeyer rempli d'eau à un pH égal à 2. Ce dernier est à son tour relié par un deuxième tuyau à un récipient vide. Le CO₂ produit dans le fermenteur entre dans l'erlenmeyer en exerçant une pression qui va chasser une quantité d'eau proportionnelle à cette pression. Cette quantité d'eau récupérée dans le deuxième récipient a un volume équivalent à la pression de CO₂ libéré. Pour une bonne mesure, le système doit être étanche.

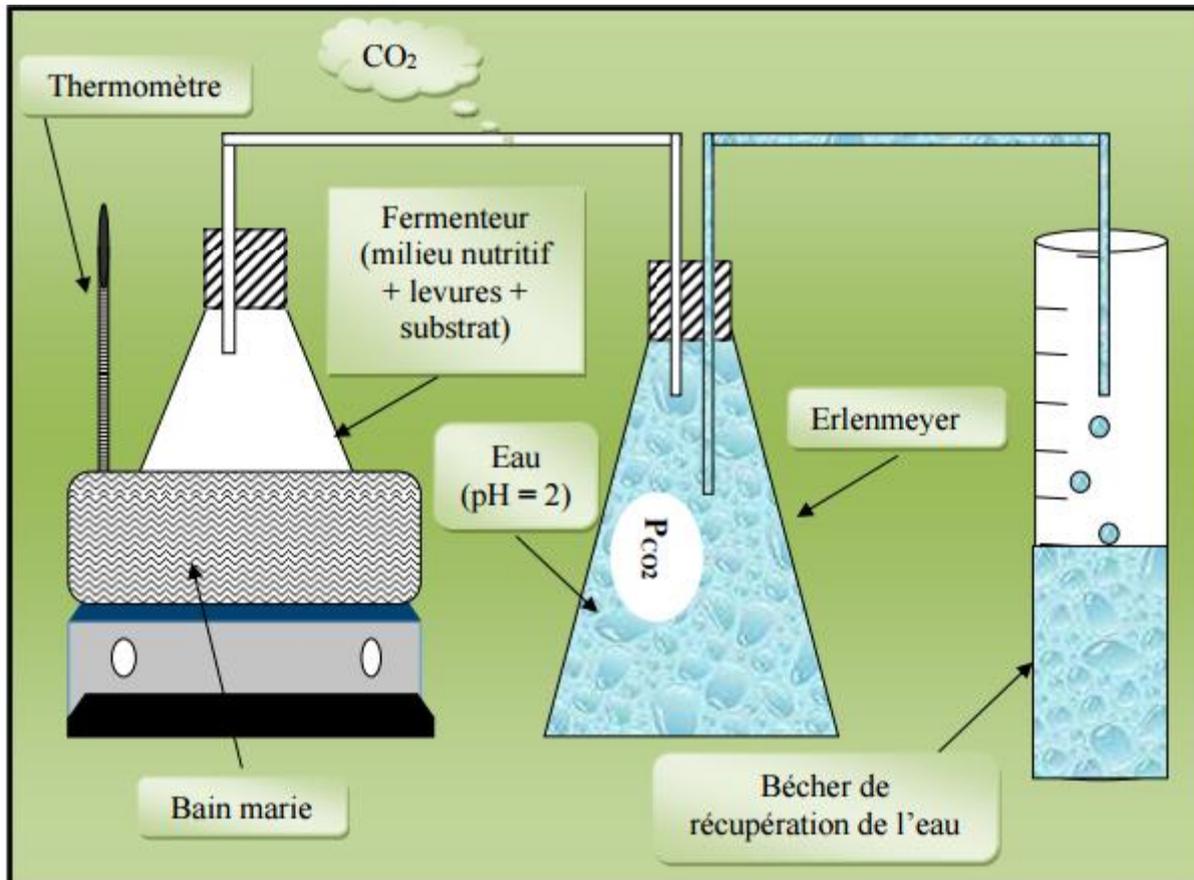


Fig.15. Dispositif expérimental de la fermentation alcoolique

11. DOMAINES D'UTILISATION D'ÉTHANOL

La production d'éthanol à partir des déchets de dattes constitue une solution intéressante sur le plan économique, cet alcool peut remplacer avantageusement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et peut remplacer le pétrole léger comme carburant ou au moins permettre le coupage de l'essence (5 à 10 % d'éthanol).

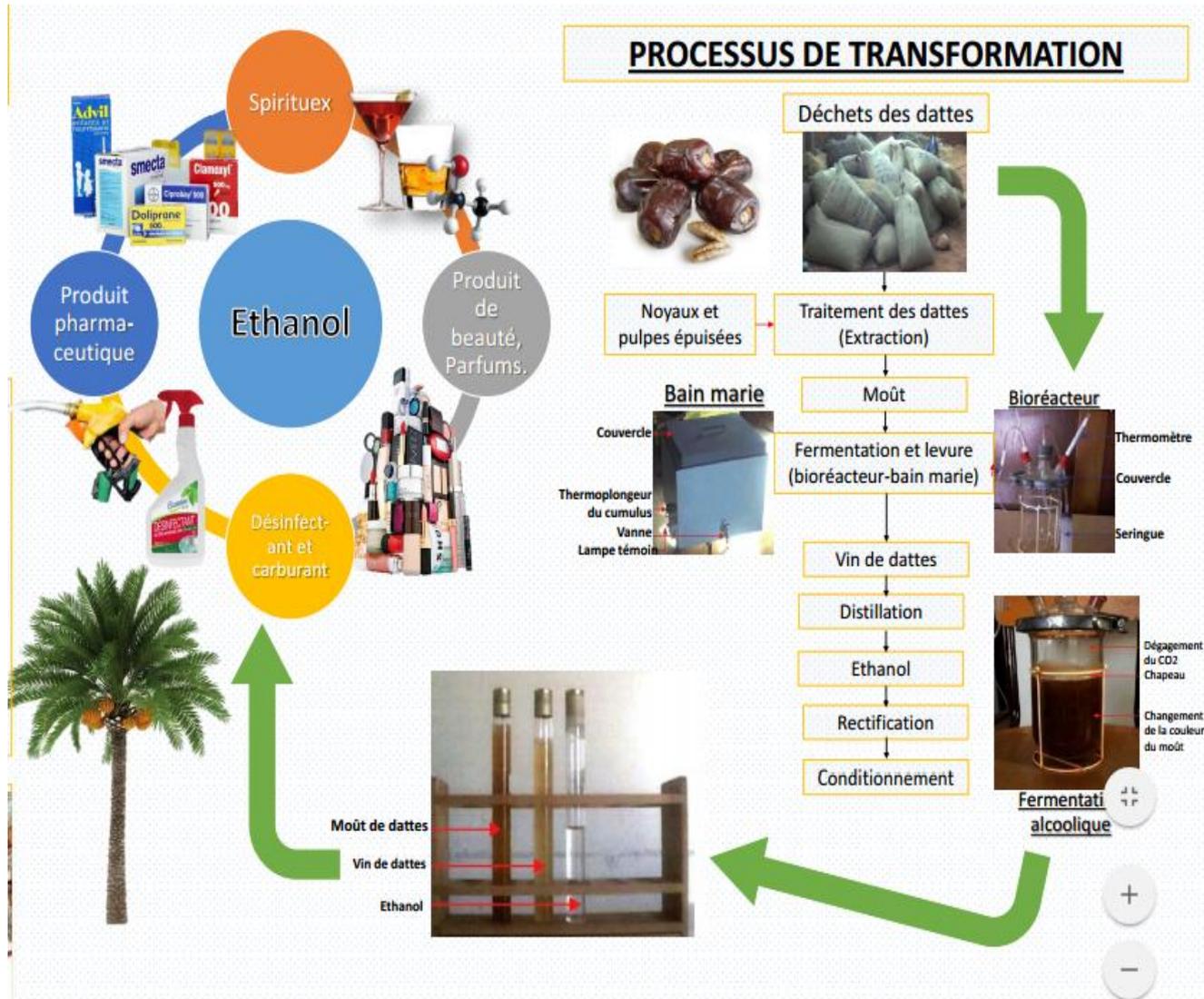


Fig. 16 : PROCESSUS DE TRANSFORMATION et DOMAINES D'UTILISATION D'ÉTHANOL

13. DÉBOUCHÉS :

La mise en œuvre d'une industrie de transformation de dattes de qualité commerciale médiocre et de déchets de dattes par des procédés biotechnologiques assez simples répondrait parfaitement aux besoins socio-économiques du pays. Les déchets de dattes constituent un substrat de choix pour la mise au point de substances à forte valeur ajoutée, entre autres l'alcool éthylique et la mise au point d'un procédé de fabrication d'alcool permettra sans nul doute une meilleure maîtrise du procédé industriel. En outre, vu la faisabilité et la simplicité de mise en œuvre d'une telle industrie, les régions phoenicoles devraient attirer beaucoup d'investisseurs, ces derniers pourraient tirer d'énormes profits et contribuer en même temps au développement de l'économie nationale.

12. POURQUOI CE PROJET EST SI INTÉRESSANT?

Au Algérie, le poids démographique regroupe 40%, le milieu rural regroupe 79,4% des pauvres et 64% des vulnérables, cette situation inquiétante rend le faite de donner plus d'importance à ce milieu est quelque chose de primordial. Dans cette optique, et vu que le Maroc est l'un des premier pays producteurs de dattes au monde et que celles-ci sont essentiellement produites et consommé dans les milieux ruraux, que la valorisation des déchets ces dattes semble être un remède de poids pour la situation de crise que vivent dans le milieu rural tout en les impliquant dans le processus.

IV. Chapitre 03 :

Montage d'une unité de valorisation des dattes par transformation :

1. Projets de production de bioéthanol à l'échelle nationale

A l'instar d'autres pays américains et européens qui ont développé des programmes industriels intégrés pour la production d'éthanol à partir de biomasse végétale, l'Algérie, possède un potentiel considérable en déchets et sous-produits de dattes ce qui pourrait lancer un pareil programme. La production d'éthanol à partir des déchets de dattes constitue une solution intéressante sur le plan économique. Cet alcool peut remplacer avantageusement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et peut remplacer le pétrole léger comme carburant. En outre, l'intérêt de produire de l'éthanol vient du fait que c'est une substance énergétique et son utilisation couvre un champ étendu d'activités industrielles: fabrication d'intermédiaires chimiques (produits de beauté, parfums, cosmétiques, produits pharmaceutiques, de solvants, de détergents, etc. Enfin, il est utile de signaler, selon la Régie des Alcools, que notre pays importe entre 30 000 et 50 000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins. En considérant les conditions climatiques, la disponibilité de la matière première, les exigences technologiques et la demande nationale en alcool, un programme expérimental au niveau des laboratoires et à l'échelle pilote a été entrepris et les résultats obtenus ont démontré la faisabilité du procédé aussi bien sur le plan technique qu'économique.

2. Le bioéthanol de 2ème génération : est-il une réalité industrielle et économique ?

Une étude récente, réalisée par des chercheurs de l'Unité de Bio-industries, a décrit les aspects fondamentaux, technologiques, économiques et environnementaux de la production de bioéthanol de deuxième génération au départ de biomasse lignocellulosique . Dans les cas où le développement du marché du bioéthanol a déjà atteint la commercialisation de l'éthanol hydraté et dispose déjà d'une flotte significative . Le nombre d'unités commerciales de production d'éthanol lignocellulosique a fortement progressé au cours de ces deux dernières années. Leur capacité totale atteint 350 000 t/an à fin 2014. Plusieurs autres unités sont en cours de développement et représentent une capacité supplémentaire de 137 000 t/an à court terme . De nouvelles organisations territoriales voient le jour, et acquièrent une renommée internationale. Ce type de structure vise à donner une meilleure visibilité aux performances de la filière et renforcer la compétitivité à l'international afin de contribuer au développement durable au niveau régional, nationale et international.

3. Les avantages et les inconvénients du bioéthanol

Le bioéthanol présente de nombreuses dualités comme résumé dans le Tableau 3. Sa formule chimique étant C_2H_5OH , il est qualifié de carburant oxygéné, il peut améliorer, dans le cas d'un mélange, les performances de l'essence en diminuant les problèmes de combustion à hauts régimes. L'oxygène contenu dans l'éthanol améliore la combustion du carburant, en diminuant la production de monoxyde de carbone, les quantités d'hydrocarbures non brûlés qui participent à la formation de l'ozone dans les couches inférieures de l'atmosphère et les particules émises responsables de nombreux troubles respiratoires et du noircissement des bâtiments.

Tableau 3. Avantages et les inconvénients du bioéthanol.

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

L'industrialisation de l'activité de valorisation des dattes permettra de donner une valeur ajoutée à la production de dattes à faible valeur commerciale qui constitue une part importante de la production dattiers nationale. L'abondance de cette matière première à transformer nécessite l'installation de petites et de moyennes unités industrielles.

Dans cette étude, il est proposé la conception d'une unité de capacité moyenne pour la transformation des dattes qui sera destinée à la production de l'alcool et du

sirop des dattes. Les sous-produits issus de ces deux types de transformation que sont les noyaux et la pulpe épuisée (source de fibres alimentaires) peuvent aussi être valorisés à travers des traitements spécifiques à savoir le broyage des noyaux pour la production de la farine et le séchage et pelletage de la pulpe. Ces deux produits sont destinés à l'alimentation animale.

Les équipements proposés dans cette étude ont été construits dans des ateliers algériens selon des modèles et des dimensions demandés par les chercheurs de l'Institut National de la Recherche Agronomique à ces constructeurs. Le coût de ces équipements, qui sont adaptés aux conditions de fonctionnement au niveau des oasis, n'est pas élevé. Ils sont fabriqués à partir de matériaux de très bonne qualité et répondant aux normes de sécurité exigées dans les industries agro-alimentaires.

4. Description des technologies

4.1. Fabrication de l'alcool des dattes

Les fruits destinés à la transformation en alcool sont des dattes de faible qualité marchande. Les lots à transformer peuvent être constitués de variétés différentes mais il faut veiller à ce que le lot soit homogène de point de vue consistance. Par ailleurs, les dattes molles et demi-molles et moins fibreuses sont plus rentables pour ce type de transformation.

L'alcool est obtenue par La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. La purée étant préparée préalablement suite à un trempage des dattes dans l'eau et une séparation des noyaux dans un broyeur-séparateur. Le but à atteindre dans toute formule de fabrication est d'obtenir une teneur en sucre de 50 à 52 % (sucre ajouté et sucre apporté par le fruit) dans l'alcool ce qui correspond à un extrait sec soluble de 90 à 95 %.

Avec cette concentration, on assure :

- la conservation normale du produit ;
une certaine rigidité par la prise en gelée de l'alcool au cours du refroidissement ;
- Le respect des normes exigées pour l'alcool.

Le processus général de la conversion de la biomasse en éthanol pur peut être divisé en quatre phases distinctes principales² :

– **Hydrolyse des sucres polymères.** Avec l'hydrolyse, les sucres polymères sont réduits en sucres monomériques. Les méthodes pour l'hydrolyse sont entre autres: application de chaleur, d'acides, d'enzymes ou une combinaison de ceux-ci.

– **Fermentation.** La conversion des sucres en éthanol de nos jours est faite par l'utilisation de monocultures de levure. Les paramètres importants de la fermentation sont un teneur en alcool élevée et une faible consommation d'énergie et une réduction de la durée de l'opération.

– **Distillation.** La distillation est une technologie bien connue pour la séparation des mélanges des liquides avec différents points d'ébullition. La distillation permet d'obtenir un contenu en éthanol jusqu'à 96% par unité de volume.

– **Déshydratation.** Dans cette dernière étape l'éthanol est séparé de l'eau pour obtenir une teneur en eau de moins de 0,3% par unité de volume, signifiant un éthanol avec plus de 99,7% de pureté. Pour cette séparation, des technologies habituelles sont employées comme des membranes ou des tamis moléculaires.

4.2. Transformation des sous-produits

Il s'agit de la valorisation par transformation des sous-produits issus de la fabrication des deux produits suscités. La transformation des dattes en alcool donne lieu aux noyaux comme sous-produit. Cependant, la fabrication du sirop génère les noyaux ainsi que la pulpe humide épuisée comme sous-produits. Les noyaux peuvent être vendus en l'état à diverses fins (combustible, fabrication d'un succédané de café, matière première pour la cosmétique, etc.) ou broyés pour la production d'une farine destinée à l'alimentation animale. Un kilogramme de dattes transformées donne en moyenne 250 g de noyaux. La pulpe humide, presque épuisée en sucre (contenant environ 10 g de sucre pour 100 g de matière sèche), peut être directement séchée pour la fabrication d'une farine riche en fibres alimentaires. Cette farine peut être utilisée en alimentation humaine ou extrudée sous forme de pellets qui seront séchés et orientés vers l'alimentation animale.

5. Etude financière

L'étude est réalisée pour une unité moyenne traitant 250 kg par jour de dattes pour la production de l'alcool. L'unité est conçue pour fonctionner 200 jours ouvrables répartis à égalité entre la production de l'alcool (100 jours) et la fabrication du sirop (100 jours). Nous avons supposé que les sous-produits ne seront pas traités au niveau de l'unité mais vendus en l'état.

5.1. Choix du site de l'implantation de l'unité

Le choix doit tenir compte de :

Existence d'une zone industrielle (surtout facilité de collecte et d'évacuation des eaux usées).

Disponibilité de l'eau en quantité et en qualité.

Disponibilité de l'énergie électrique.

6. Modalités d'approvisionnement de l'unité en dattes

Alimentation de l'unité à partir d'une chambre froide ayant une capacité de stockage de 5 tonnes.

Alimentation de la salle à partir des achats directs d'environ une tonne par semaine.

7. Moyens nécessaires

7.1. Investissements physiques

Coût des constructions

On prévoit un lot de terrain global de 340 m². Le détail sur les différents locaux est présenté dans le tableau 4.

Tableau 4. Différents locaux de l'unité de transformation des dattes en l'alcool avec les estimations des superficies et des prix.

Désignation	Superficie (m ²)	Prix unitaire (da)	Coût total (da)
Salle de stockage (chambre froide)	20	5.00000	100.00000
Salle de réception et de préparation de la matière première	60	2.00000	120.00000
Salle de réception de client	40	2.00000	80.00000
Salle de chaudière	30	2.00000	60.00000
Salle d'étiquetage et d'emballage	20	2.00000	40.00000
Salle de stockage des produits finis	20	2.00000	40.00000
Salle de stockage des ingrédients et de l'emballage (cannete, cartons, etc.)	30	2.00000	60.00000
Bureau	20	2.00000	40.00000
Vestiaire	30	3.00000	90.00000
Toilettes, douches et autres	20	3.00000	60.00000
Salle de stockage des sous-produits	50	2.50000	125.00000
Raccordement électrique	-	-	10.00000
Branchement téléphonique	-	-	1.00000
Branchement eau	-	-	10.00000
Total	340	-	836.00000

7.2. Matériel et équipement de production

Le coût du matériel et équipement de production est estimé à 399.000 da. Sa répartition est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5. Matériel et équipement de production de l'unité de transformation des dattes en l'alcool avec les estimations des quantités et des prix.

Désignation	Quantité	Prix unitaire (Da)	Prix total (Da)
Bascule (portée de 10 à 200 kg)	1	5.000	5.000
Conditionneurs air (chambres de stockage)	2	7.000	14.000
Matériel de laboratoire	1 lot	20.000	20.000
Bain marie	1	20.000	20.000
Capsuleuse	1	45.000	45.000
Autoclave	1	90.000	90.000
Raffineuse (pour la séparation des noyaux)	1	50.000	50.000
Bioréacteur	1	40.000	40.000
Séchoir	1	40.000	40.000
Chaudière	1	60.000	60.000
Divers	1 lot	15.000	15.000
Total	-	-	399.000

7.3. Matériel de bureau

Le matériel de bureau est estimé à 41.800 da comme le montre le tableau 6.

Tableau 6. Matériel de bureau de l'unité de transformation des dattes en confiture et sirop avec les estimations des prix.

Désignation	Quantité	Prix unitaire (Da)	Prix total (Da)
Bureaux	3	1.500	4.500
Table pour microordinateur	3	500	1.500
Chaises	10	200	2.000
Onduleur pour micro-ordinateur	3	600	1.800
Micro-ordinateur + imprimante	3	8.000	24.000
Armoire	3	1.000	3.000

		0	
Divers	3	5.00	5.000
		0	
Total	-	-	41.800

7.4. Frais de formation

Les frais de formation et d'encadrement sont estimés à 60.000 da.

Charges et fonds de roulement

Les charges seront déterminées sur la base d'un taux d'utilisation de 100 % de la capacité d'utilisation de l'unité à partir de la première année.

Achat des matières premières

L'unité traitera annuellement 50 tonnes de dattes (50 tonnes destinées à la fabrication de l'alcool). La transformation des 50 tonnes de fruits en l'alcool donne lieu à la production de 56,25 tonnes de l'alcool et de 6,25 tonnes de noyaux. Alors que 25 tonnes de dattes donnent lieu à la production de 8 tonnes de sirop, 6,25 tonnes de pulpe humide et 6,25 tonnes de noyaux. Le prix unitaire retenu pour l'achat d'un kilogramme de dattes destinées à la transformation est de 3,50 da. Le coût annuel de l'achat des dattes est de $50.000 \times 3,50 = 175.000$ da.

7.5. Achat des emballages et étiquettes

Le coût du matériel d'emballage, d'étiquetage, de stockage, etc. est estimé à 389.100 Da (Tableau 7).

Tableau 7. Quantités et coûts du matériel d'emballage, d'étiquetage et de stockage de l'unité de transformation des dattes en l'alcool

Désignation	Quantité	Prix total (DH)
bouteille de l'alcool	150.00	480.000
	0	
Sacs en plastique (Capacité 100 kg)	100	2.000
Caisses en plastique (Capacité 25 kg)	100	2.500
Etiquettes	165.00	132.000
	0	
Total	-	776.500

ii) Bouteille

L'alcool sera vendu dans des bouteilles devant contenir 450 cl du produit. Le nombre de bouteille nécessaire pour l'emballage de l'alcool produite en une année (100 jours d'activité) est de 125.000 bouteille. En tenant compte des pertes (casses), le nombre est arrondi à 150.000 bouteilles. Le coût à investir pour l'achat des bouteilles (couvercle compris) est de 150.000×3 Da = 450.000 Da. En tenant compte des frais du transport (20 centimes le bouteille), le coût s'élève à $150.000 \times 3,20 = 480.000$ Da pour l'emballage de l'alcool.

ii) Caisses

L'unité doit disposer d'environ une centaine de caisses pour le stockage et le transport des dattes. Le prix de chaque caisse en plastique étant de 25 Da. Le coût d'acquisition de ces caisses est de 2.500 da.

ii) Etiquettes

L'alcool en étiquettes est d'environ 165.000 unités. A un prix de 0,80 da, le coût nécessaire pour l'achat des étiquettes est de $165.000 \times 0,80 = 132.000$ Da.

iii) Sacs en plastiques

Les noyaux ainsi que la pulpe humide issue de la transformation des dattes en l'alcool seront stockés dans des sacs en plastique de 100 kg. Environ une centaine de sac sera achetée. A un prix unitaire de 20 Da, le montant nécessaire pour l'acquisition de ces sacs est de $100 \times 20 = 2.000$ Da. Le coût pour assurer les opérations d'emballage et d'étiquetage est estimé à 776.500 Da.

8.4. Frais du personnel

Les activités au niveau de l'unité seront assurées par :

- Un directeur : ayant une expérience en gestion. Il doit superviser la production.
- Un magasinier.
- 5 ouvriers.

Les salaires annuels du personnel sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8. Salaires annuels du personnel de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.

Désignation	Nomb re	Salaire / net mois (Da)	Salaire / net an (Da)
Directeur	1	6.0000	72.0000
Magasinier	1	3.0000	36.0000
Ouvriers	5	2.0000	120.0000
Total hors charges sociales	-	-	228.0000
Charges sociales 12 %	-	-	27.3600
Total des frais du personnel	-	-	255.3600

7.6. Besoins en énergie et en eau

i) Consommation d'eau

L'eau est utilisée dans les différentes opérations de transformation des dattes, le nettoyage des locaux et les besoins du personnel. La quantité d'eau pour couvrir ces besoins est estimée à 600 m³ par an.

ii) Consommation d'électricité

La quantité totale d'électricité consommée est estimée à 15.600 kW (Tableau 9)

Tableau 9. Consommation d'électricité au niveau de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.

Rubrique	Consommation journalière (kW)	Consommation annuelle (kW)	Prix unitaire (Da)	Coût total (Da)
Eclairage des locaux	1	200	1	200
Chambres de stockage des dattes	24	8.800	1	8.800
Equipements de production	30	6000	1	6.600
Total	-	-	-	15.600

Le coût des besoins en eau et en électricité s'élève à 21.600 Da (Tableau 10).

Tableau 10. Coût des besoins en eau et en électricité de l'unité de transformation des dattes en l'alcool

Rubrique	Consommation par campagne	Prix unitaire (Da)	Coût total (Da)
Eau (m ³)	600	10	6.000
Electricité (kW)	15.600	1	15.600
Total	-	-	21.600

7.7. Fonds de roulement

On suppose que la production ne sera pas écoulee immédiatement après fabrication et qu'un stock se constituera pendant trois mois. L'unité ne commencera à avoir des rentrées d'argent qu'au bout du premier trimestre de l'année. Le fonds de roulement correspondra au triple des besoins d'un mois courant augmenté des achats des matières premières et d'emballage et de la consommation d'énergie pendant les trois premiers mois. Le tableau 19 donne le compte courant correspondant à un mois.

Tableau 11. Compte courant mensuel de l'unité de transformation des dattes en l'alcool

Rubrique	Besoin d'un (Da)
----------	------------------

	n mois
Salaire du personnel	255.360 / 12 = 21.280
Total	21.280

Le fonds de roulement pour le premier trimestre de l'exercice est présenté dans le tableau 12.

Tableau 12. Fonds de roulement pour le premier trimestre de fonctionnement de l'unité de transformation des dattes en l'alcool

Capacité	Coût (Da)
Matière première et additifs	30.963
Emballage et étiquetage	64.708
Energie et eau	1.800
Compte courant (1 mois)	21.280
Total	118.751
Fonds de roulement	118.751 x 3 mois = 356.253

Le tableau 13 présente un récapitulatif des besoins en capitaux et financement.

Tableau 13. Récapitulatif des besoins en capitaux et financement.

Désignation	Montant (Da)
Investissements physiques + terrain	1.306.800 + 340.000 = 1.646.800
Fonds de roulement	356.253
Total	2.003.053

7.8. Ressources financières

Les besoins en capitaux pour les investissements physiques et les fonds de roulement sont évalués à 2.003.053 Da. Pour ce financement, on peut avoir recours soit à l'autofinancement (100 %) du capital soit à l'emploi des crédits.

7.9. Chiffre d'affaire

Le chiffre d'affaire est constitué des recettes des ventes des produits fabriqués à savoir la l'alcool et les sous-produits (noyaux et pulpe). Pour ces derniers, ils seront vendus comme matières brutes.

- Prix de vente de l'alcool de 150Da / bouteille de 450 cl ;
- -prix de vente des noyaux de 2 Da / kg ;
- - Prix de vente de la pulpe de 1 Da / kg.
- Le tableau 14 donne le chiffre d'affaire de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.

Tableau 14. Chiffre d'affaire de l'unité de transformation des dattes en l'alcool.

Désignation	Quantité produite	Quantité vendue	Prix unitaire (Da)	Prix total (Da)
bouteille de l'alcool	125.000	124.000	15	1.860.000
Noyaux (kg)	12.500	12.250	2	24.500
Pulpe humide (kg)	6.250	6.000	1	6.000
Total	-	-	-	2.590.500

La rentabilité du projet est évaluée par le rapport des bénéfices nets sur le capital social. Les bénéfices nets correspondent à la différence entre le résultat net et l'impôt sur la société. Le résultat net est la différence entre la marge brute (chiffre d'affaire charges d'exploitation) et les amortissements.

8. Evolution du marché mondial

Il y a quelques années, deux types d'alcool existaient sur le marché, celui produit par hydratation de l'alcool produit en raffinerie pétrolière et celui produit à partir de produits agricoles appelé bio alcool. L'alcool à partir du pétrole représentait 7% du marché de l'alcool dans les années 1990. En 2006 ce même éthanol représentait moins de 4% du marché et en 2009 il n'était plus produit que par voie fermentaire. Ceci peut s'expliquer par deux choses ; l'augmentation du prix du pétrole depuis les années 2000, et donc celui de l'éthylène, et la baisse du prix de l'alcool. L'alcool a différents débouchés, l'alcool de bouche, l'alcool industriel et l'éthanol carburant. L'évolution de la production d'éthanol pour l'industrie ou pour la consommation humaine a été relativement stable de 2001 à 2010 passant de 12 000 000 m³ à 15 000 000 m³. L'augmentation de la production est essentiellement liée à l'utilisation de l'éthanol en tant que carburant. En effet, la part de l'éthanol carburant sur le marché de l'éthanol est passée de 2001 à 2010 de 58 à 80 % (France Agrimer, 2011).

L'augmentation de la production d'alcool, présentée figure 6, est devenue presque exponentielle depuis 2000. Cette tendance devrait être conservée au moins jusqu'en 2015 suite à (Nag, 2008) :

- l'augmentation du prix du pétrole et à son instabilité
- l'augmentation des demandes énergétiques des pays émergents
- la diminution des réserves de pétrole
- l'intérêt environnemental de l'utilisation d'éthanol carburant - l'instabilité politique des régions productrices de pétrole

La production d'alcool ne devrait cependant que peu augmenter pour cette année 2012. En effet, suite à une forte sécheresse sur le continent nord américain et donc de faibles récoltes, la FAO a demandé aux Etats-Unis de limiter la production d'éthanol pour réorienter une partie du maïs vers le marché de l'alimentaire.

V. *Chapitre 0 4:*

Les modèles et les résultats :

➤ **Définition de logiciel (cplex) :**

IBM ILOG CPLEX Optimisation Studio regroupe un ensemble d'outils pour la programmation mathématique et la programmation par contraintes. Il associe :

- un environnement de développement intégré (Integrated Développement Environnement IDE) nommé Cplex Studio IDE (sous Windows) ou oplide (sous Linux),
- un langage de modélisation : le langage OPL (Optimisation Programming Language),
- deux solveurs : IBM ILOG CPLEX pour la programmation mathématique (résolution de programmes linéaires en nombres fractionnaires, mixtes ou entiers et de programmes quadratiques) et IBM ILOG CP Optimiser pour la programmation par contraintes.

2. Le modèle mathématique :

2.1. Les indice :

- Z : indice lié à la zone de production de datte
- E : indice lié à l'entrepôt
- L : indice lié à la zone de production de conditionnement
- V : indice lié à la variété
- B2 : indice lié à la taille de boite; emballage dans usine de production
- Q1 : indice lié à la taille de bouteille;
- T : indice à la période de demande production
- TF : indice horizon de la campagne de la récolte de datte de taille TF
- C : indice lié au centre de conditionnement en boite.

2.2. Les entrees de programme :

PRT2 : % de produit de mauvaise qualité.

K1 : nombre de palier qu'un ouvrier peut récolter par période.

N : nombre de palmier par zone.

RDt : rendement moyen d'un palmier par zone.

NMAX : nombre maximum opérateur qualifié par zone par période pour enlever les dattes d'un palmier.

Crpo : coût de récolte d'un palmier dans la zone.

PR2 : pourcentage de récolte par zone par variété.

Cf : coût de fumigation d'une caisse de 30 kg.

cout2 : coût de mise en caisse de 30 kg selon la variété.

CT2 : coût de transport zone --> usine technologie classique.

CT3 : coût de transport entrepôt --> centre de conditionnement.

PB2 : poids de type de boite2.

CB2 : coût de mise d'un emballage de type boite2 au centre de technologie classique.

Cb3 : coût de mise d'un emballage de la bouteille.

PV2 : prix de vente d'un type de boite par période au centre de conditionnement classique.

Pv3 : prix de vente d'une bouteille alcoolique.

Cdf : coût de la fermentation des dattes de mouvais qualité.

hS2 : coût de stockage d'une tonne de variété par semaine.

Csc : coût de stockage d'une bouteille.

hS : de stockage d'un emballage de type boite2 à une période.

cap2 : capacité de réception par semaine à l'entrepôt.

cap3 : capacité de conditionnement de l'usine équivalent en tonne mis en boite par semaine.

dem2 : demande de datte mise en boite2 de variété à une période au niveau de l'usine classique.

Dem3 : demande des bouteilles une période au niveau de l'usine classique.

CA : coût d'achat d'une caisse de variété a la période ts a la zone j.

2.3. Les sorties (Variables de décision) :

Nm : nombre d'employé utilisé pendant une période de campagne par zone de récolte.

Npro : nombre de palmier récolté pendant une période de campagne par zone de récolte.

QRT2 : poids en kg de la quantité récoltée de la zone désignée à être expédiée vers le centre classique.

QR2 : poids en kg de la quantité récoltée de la zone par variété désignée à être expédiée le cantre classique.

n2 : nombre de caisse de 30 kg récolté de la zone à la période de campagne désignée à être expédiée vers Cond2.

QRL2 : nombre de caisse de 30 kg livrée de la zone vers l'usine2 à la période de récolte par variété.

QSF2 : nombre de caisse de 30 kg subit la fumigation à la période.

QSFT2 : nombre de caisse de 30 kg stockés à la période t au niveau de l'entrepôt.

QCE : nombre de caisse de 30 kg entrantes à la période t au niveau de l'entrepôt.

QRL3 : nombre de caisse de 30 kg livrée de l'entrepôt vers l'usine2 pendant toute l'année.

QRL4 : nombre de caisse de 30 kg entré à l'usine de conditionnement à la période t'.

NB2 : nombre de boites conditionnées à l'usine classique à la période de tout l'horizon par variétés.

Nc3 : nombre des bouteilles fabriquées.

NBS2 : nombre de boite2 stockée à l'usine classique à la période de tout l'horizon par variété.

Ncs : nombre de bouteille stockée à l'usine.

QV2 : nombre de boite2 vendues de l'usine classique à la période de tout l'horizon par variété.

nv3 : nombre de bouteilles alcooliques vendues.

2.4. La fonction objective :

Maximise

$$Z = \sum_L \sum_{Tvent} \sum_b \sum_V (QV2_{E Tvent b V} * PV2_{L Tvent b V}) + (\sum_L \sum_{Tvent} \sum_b \sum_V (nv3_{E Tvent b V} * PV3_{L Tvent b V}) - \sum_i \sum_{t1} \sum_V cdf * PRT2 * QRT2_{it1} - \sum_j \sum_v NCS * CSC - \sum_L \sum_V \sum_{T=ti}^{tf} \sum_b Nc3_{LVT} * Cb3_b) - (\sum_Z \sum_{T=ti}^{tf} npro_Z * CRPO_Z + \sum_i \sum_v \sum_V n2 * (cout2 + CA) + \sum_i \sum_j^t \sum_V \sum_{t1} QRL2_{ZTVL} * CT2_{ZL} + \sum_j \sum_v QSft2 * HS2 + \sum_j \sum_K \sum_V QRL3_{LTV} * CT3 + \sum_L \sum_V \sum_{T=ti}^{tf} \sum_b Nb2_{LVT} * Cb2_b + \sum_V \sum_b \sum_{Ts} \sum_L NbS2_{VbTL} * HS_{bTs})$$

2.5. Les contraintes

$$1) \sum_i \sum_{t1} npro_{it1} \leq N_i \forall i$$

Nombre de palmiers récoltés sur toutes les périodes ne peut dépasser le nombre total de palmier de la zone.

$$2) \sum_i \sum_{t1} npro_{it1} = K1_{it1} * nm_{it1} \forall i \forall T1$$

Nombre de palmiers recomptées liée au norme d'employées utilisées pour chaque zone et période.

$$3) \text{ nm}_{it1} \leq \text{NMAX}_{t1} \quad \forall i \forall T1$$

Nombre d'ouvrier maximal disponible dans la zone à une période de campagne.

$$4) \text{ npro}_{it1} * \text{RDt}_i = \text{QRT2}_{it1} \quad \forall i \forall T1$$

Le poids en kg après la récolte d'un nombre de palmier par zone par période.

$$5) \text{ QR2}_{it1v} = \text{PR2}_{it1v} * \text{QRT2}_{it1} \quad \forall i \forall T1 \forall v$$

Passage de datte mélangée vers des variétés de dattes par zone et par période.

$$6) \text{ QR2}_{it1v} = 1 * \text{n2}_{it1v} \quad \forall i \forall T1 \forall v$$

Nombre de caisse dédié vers la technologie classique par variété par zone et par période.

$$7) \sum_j \text{QRL2}_{it1vj} = \text{n2}_{it1v} \quad \forall i \forall T1 \forall v$$

Nombre de caisse sortant d'une zone par variété et par période vers toutes les usines2.

$$8) \sum_i \text{QRL2}_{it1vj} = \text{QCE}_{it1vj} \quad \forall j \forall T1 \forall v$$

Nombre de caisse entrant de toutes les zones vers une seules usine2 par variété et par période.

$$9) \text{QCE}_{t1+1vj} = \text{QSF2}_{t1+1vj} \quad \forall j \forall T1 + 1 \forall v$$

Nombre de caisse entrant de toutes les zones vers une seules usine2 par variété et par période.

$$10) \text{QSF2}_{t1=1vj} = 0 \quad \forall t \in T \text{ et } t=1, \forall j \forall v$$

La quantité sortie de fumigation à la première période hors la campagne.

$$11) \text{QSF2}_{t < t1+1vj} = 0 \quad \forall t \in T \text{ et } t >= t1+1, \forall j \forall v$$

$$12) \sum_j \sum_{t1} \text{QSF2}_{t1vj} \leq \text{cap2}_{t1j} \quad \forall t1 \in T \text{ et } t1 > 1, \forall j \forall v$$

La capacité maximale de réception de l'uisn2 par période.

$$13) \text{QSFT2}_{t-1vj} + \text{QSF2}_{tvj} = \sum_j \text{QRL3}_{jtvk} + \text{QSFT2}_{jtv} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \forall j \forall v$$

$$14) \text{QSFT2}_{t1vj} = 0 \quad \forall t \in T \text{ et } t=1, \forall j \forall v$$

$$15) \text{QRL3}_{tkvj} = \sum_j \sum_{t1} \text{QSF2}_{tvj} \quad \forall j \forall T \forall v \forall k$$

$$16) \sum_j \text{QRL3}_{jtvk} = \text{QRL4}_{kvj} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \forall j \forall v$$

$$17) \sum_j QRL4_{tk} \leq cap3_{tk} \quad \forall t \in T \text{ et } t \geq 1, \quad \forall k$$

La maximale de réception de l'uisn2 par période il faut décaler la capacité par une période dans les data du model.

$$18) \sum_j NB2_{tkb2} * PB2_{kb2} = 1 * (1 - PRT2_v) * QRL4_{vkb2} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \quad \forall k \quad \forall v$$

La capacité maximale de réception de l'uisn2 par période il faut décaler la capacité par une période dans les data du model.

$$19) NBS2_{t-1vkb2} + NB2_{tkb2} = QV2_{tkb2} + NBS2_{tkb2} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2$$

Bilan d'équilibrage entre le stock et la quantité vendue et produite par variété par période.

$$20) Nc2_{t-1vkb2} + Ncs_{tkb2} = nv3_{tkb2} + Nc2_{tkb2} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2$$

Bilan d'équilibrage entre le stock et la quantité vendue et produite par variété par période.

$$21) NBS2_{tkb2} = 0 \quad t \in T \text{ et } t = 1, \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2$$

La condition initiale de niveau de stock.

$$22) QV2_{tkb2} \leq dem2_{tkb2} \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2 \quad \forall t$$

L'équation de satisfaction de la demande si c'est possible au niveau de l'usine2 par emballage par période par variété.

$$23) Nc3_{tkb2} \leq dem3_{tkb2} \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2 \quad \forall t$$

L'équation de satisfaction de la demande si c'est possible au niveau de l'usine2 par emballage par période par variété

$$24) \sum_v QRL4_{tk} \leq cap3_{tv} \quad \forall t \in T \text{ et } t > 1, \quad \forall k$$

La capacité maximale de réception de l'uisn2 par période il faut décaler la capacité par une période dans les data du model.

Le bilan de conservation des quantités

$$25) \sum_t QV2_{tkb2} = \sum_t Nb2_{tkb2} \quad \forall t \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2$$

La quantité vendu doit égale a le nombre de boite produite b2 par variété.

$$26) \sum_t nc3_{tkb2} = \sum_t Ncs_{tkb2} \quad \forall t \quad \forall k \quad \forall v \quad \forall b2$$

Les bouteilles vendu doit égale a le nombre de bouteille produite b2 par variété

2.5. Les valeurs des entrées :

periode	bouteille=60n	botteille=1l	botteille=5l
s1	0	0	0
s2	624	324	0
s3	784	458	987
s4	0	356	245
s5	0	95	784
s6	0	0	365
s7	0	0	245
s8	0	564	784
s9	0	847	130
s10	758	895	0
s11	698	748	897
s12	541	246	487
s13	451	456	789
s14	0	0	654
s15	0	0	487
s16	0	0	962
s17	521	0	0
s18	0	0	254
s19	0	457	0
s20	0	0	698
s21	0	0	254
s22	0	0	874
s23	487	0	652
s24	230	0	487
s25	0	123	952
s26	0	421	458
s27	0	120	254
s28	0	645	324
s29	0	0	458
s30	0	0	245
s31	0	0	324
s32	0	0	0

Tableau 16. nombre de bouteilles fabriquées (nc3)

Ce tableau représente le nombre de bouteilles alcooliques fabriquées au cours de l'année. Ce tableau montre que les bouteilles alcooliques d'une capacité de 5L sont les plus productives et cela est dû au fait qu'elles sont les meilleures ventes.

periode	bottelle=60r	botteille=1l	botteille=2l
s1	0	0	0
s2	552	229	0
s3	697	379	419
s4	0	311	118
s5	0	95	195
s6	0	0	120
s7	0	0	150
s8	0	427	363
s9	0	502	113
s10	689	550	0
s11	603	601	743
s12	496	100	163
s13	419	131	332
s14	0	0	440
s15	0	0	340
s16	0	0	637
s17	276	0	0
s18	0	0	156
s19	0	223	0
s20	0	0	241
s21	0	0	130
s22	0	0	509
s23	252	0	407
s24	83	0	233
s25	0	123	168
s26	0	96	144
s27	0	120	129
s28	0	81	200
s29	0	0	137
s30	0	0	121
s31	0	0	110
s32	0	0	0

Tableau 17. nombre de bouteille vendu (nv3)

Ce tableau représente le nombre de bouteilles alcoolique vendues au cours de l'année. D'après ce tableau, nous remarquons que les bouteilles alcooliques d'une capacité de 5L sont les plus demandées sur le marché.

periode	bouteille=60n	botteille=1l	botteille==5l
s1	0	0	0
s2	72	95	0
s3	87	79	568
s4	0	45	127
s5	0	0	589
s6	0	0	245
s7	0	0	95
s8	0	137	421
s9	0	345	17
s10	69	345	0
s11	95	147	154
s12	45	146	324
s13	32	325	457
s14	0	0	214
s15	0	0	147
s16	0	0	325
s17	245	0	0
s18	0	0	98
s19	0	234	0
s20	0	0	457
s21	0	0	124
s22	0	0	365
s23	235	0	245
s24	147	0	254
s25	0	0	784
s26	0	325	314
s27	0	0	125
s28	0	564	124
s29	0	0	321
s30	0	0	124
s31	0	0	214
s32	0	0	0

Tableau 18. nombre de bouteilles stockées (ncs)

Ce tableau représente le nombre de bouteilles alcooliques stockées au cours de l'année. A travers ce tableau, on remarque que les bouteilles alcooliques d'une contenance de 5 L sont plus quantitatives et ceci est dû à leur plus grande utilisation.

periode	QRL4
S1	0
S2	900
S3	325
S4	0
S5	0
S6	0
S7	654
S8	625
S9	0
S10	0
S11	245
S12	365
S13	478
S14	754
S15	0
S16	0
S17	3652
S18	0
S19	698
S20	524
S21	0
S22	0
S23	0
S24	957
S25	584
S26	214
S27	325
S28	457
S29	965
S30	587
S31	0
S32	0

Tableau 19 : le nombre des caisses entrantes au niveau de l'usine (QRL4)

Ce tableau montre les quantités des dattes destinées à l'usine au cours de l'année, et ces dattes sont de haute qualité car elles sont une fois par étapes pour être traitées en l'entrepôt.

periode	QRL3
s1	0
s2	784
s3	147
s4	784
s5	698
s6	147
s7	3654
s8	3457
s9	0
s10	1478
s11	325
s12	654
s13	452
s14	2547
s15	957
s16	698
s17	0
s18	0
s19	0
s20	3254
s21	987
s22	754
s23	698
s24	666
s25	369
s26	358
s27	451
s28	0
s29	658
s30	145
s31	987
s32	0

Tableau 20 : le nombre des caisses livrées de l'entrepôt vers l'usine (QRL3)

Ce tableau montre les quantités des dattes destinées à l'usine au moment t, et ces dattes sont conditionnées dans les usines.

periode	zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10
s1	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s2	0	0	2000	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	0	0	2000	0	0	0	0
s5	0	2000	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	2000	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	2000	0	5784	0	2000	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s10	0	0	0	0	0	0	0	3005	0	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	0	2000	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	2000	0	0	0	0	2000	0	0	0	0
s14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000

Tableau 21 : le nombre des caisses entrantes au niveau de l'entrepôt (QCE)

Ce tableau représente le nombre de sacs de dattes destinées à l'entrepôt, car ces dattes sont dans un état initial qui n'a subi aucune modification au cours du processus de fumigation.

periode	boite=200	boite=400	boite=500
s1	451	0	0
s2	987	0	0
s3	521	200	0
s4	984	0	0
s5	321	0	0
s6	254	0	0
s7	1400	0	0
s8	541	0	0
s9	512	400	0
s10	0	254	0
s11	642	0	210
s12	1254	0	0
s13	0	0	0
s14	1247	0	0
s15	0	0	0
s16	0	605	0
s17	369	0	0
s18	956	0	0
s19	258	0	650
s20	0	205	0
s21	235	0	0
s22	854	0	0
s23	745	0	0
s24	0	0	0
s25	369	987	0
s26	458	0	0
s27	258	0	0
s28	365	0	0
s29	587		0
s30	365	325	0
s31	0	0	0
s32	0	0	0

Tableau 22 : la quantité vendue dans tous les périodes(QV2)

Ce tableau représente le nombre de sacs de dattes vendus au cours de l'année. Comme ces dattes sont triées, transformées et majoritairement en 3 variétés de boîtes de tailles différentes et à travers le tableau, nous remarquons que les boîtes de petite taille sont les plus vendues.

periode	QSF2
s1	0
s2	2000
s3	0
s4	2000
s5	0
s6	4000
s7	0
s8	0
s9	500
s10	2000
s11	0
s12	0
s13	0
s14	0
s15	2000
s16	0
s17	0
s18	0
s19	3000
s20	0
s21	2000
s22	0
s23	0
s24	400
s25	200
s26	500
s27	0
s28	700
s29	2000
s30	0
s31	0
s32	0

Tableau 23 : la quantité sortie de fumigation (QSF2)

Ce tableau représente le nombre de sacs de dattes qu'ils ont traité au niveau de l'entrepôt et ces dates sont destinées aux usines pour les conditionner en fonction de la demande du marché.

periode	QRT2
s1	0
s2	4000
s3	60
s4	8000
s5	0
s6	2000
s7	29
s8	12000
s9	0
s10	4000
s11	0
s12	0
s13	0
s14	0
s15	4000

Tableau 24 : la quantité en caisse arrivée à l'entrepôt(QRT2)

Ce tableau représente le Poids en kg de la quantité récoltée de la zone désignée à être expédiée vers le centre classique

periode	zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10
s1	0	0	0	0	1354	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	4521	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	457	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	587	5784	0	541	0	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0
s10	0	0	0	805	0	758	0	0	0	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	6000	0	0	0	0	0	0	6000

Tableau 25 : le tableau qui détermine la quantité récolter zone(QR2)

Ce tableau représente la quantité récolter de dattes en kg qu'ils ont récoltés pendant la période de récolte, et ce tableau montre que la plus grande quantité a été récoltée dans la zone 4.pour plusieurs réseau comme l'optimisation de cout de transport.

periode	zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10
s1	0	0	0	0	142	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	160	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	30	0	65	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	134	5784	0	60	0	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
s10	0	0	0	90	0	247	0	0	0	0
s11	0	0	241	0	0	0	0	0	0	0
s12	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	200	0	0	0	0	0	0	500

Tableau 26 : la quantité récoltée désigné à l'entrepôt (QRL2)

Ce tableau représente le nombre de sacs de dattes qu'ils ont récoltés pendant la période de récolte désigné à l'entrepôt, qu'ils traitent afin de l'orienter vers l'usine.

periode	zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10
s1	0	0	0	0	945	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	1900	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	700	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	1900	1200	24	450	0	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0
s10	0	0	0	900	0	658	0	0	0	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s14	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	2000	0	0	0	0	0	0	2000

Tableau 27 : le tableau qui détermine le nombre de palmier récolté par zone (npro).

Ce tableau représente le nombre de palmiers dattiers qu'ils ont récoltés pendant la période de récolte. Il s'agit d'un tableau qui montre que le plus grand nombre se trouve dans la zone 4.

periode	boite=200	boite=400	boite=500
s1	0	0	0
s2	32500	53896	0
s3	4500	61456	0
s4	1000	6648	0
s5	52152	22236	0
s6	800	0	0
s7	0		0
s8	2514	0	0
s9	1025	6565	1000
s10	800	956	0
s11	32215	0	0
s12	2111	0	0
s13	0	5489	0
s14	0	6785	0
s15	5165	5554	0
s16	0	54555	0
s17	0	0	0
s18	0	0	2540
s19	0	989*95	0
s20	15202	65824	0
s21	0	6598	0
s22	25863	0	0
s23	2515	0	245
s24	0	65847	0
s25	0	32165	0
s26	0	5658	235
s27	51365	1200	0
s28	0	6462	0
s29		5698	0
s30	55698	0	0
s31	65844	0	0
s32	0	0	0

Tableau 28 : le nombre des boites stocké (NBS2)

Ce tableau représente le nombre des boites stockées au cours de l'année. A travers ce tableau, on remarque que boites d'une contenance de 200 g sont plus quantitatives et ceci est dû à leur plus grande utilisation.

periode	boite=200	boite=400	boite=500
s1	0	0	0
s2	3000	0	0
s3	0	0	0
s4	0	0	0
s5	0	0	0
s6	0	0	0
s7	0	0	0
s8	1950	0	0
s9	0	0	0
s10	0	0	0
s11	0	0	0
s12	0	1500	0
s13	0	0	0
s14	0	0	600
s15	0	0	0
s16	9500	0	0
s17	5000	0	0
s18	0	0	0
s19	0	0	0
s20	0	0	0
s21	6250	2584	0
s22	0		0
s23	0	0	200
s24	0	0	0
s25	0	0	0
s26	0	0	0
s27	0	0	0
s28	0	0	0
s29	3652	0	0
s30	0	0	0
s31	0	600	0
s32	0	0	0

Tableau 29 : le nombre des boites produites (nb2)

Ce tableau représente le nombre des boites fabriquées au cours de l'année. Ce tableau montre que les boites d'une capacité de 200 g sont les plus productives et cela est dû au fait qu'elles sont les meilleures ventes.

periode	zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10
s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	6000	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	2000	2000	0	2000	0	2000	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s10	0	0	0	2000	0	0	0	0	0	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s14	0	0	0	2000	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	6000	0	0	0	0	0	0	2000

Tableau 30 : la quantité récolte par caisse (n2)

Ce tableau représente quantité récolte de dattes par caisse qu'ils ont récoltés pendant la période de récolte, et ce tableau montre que la plus grande quantité a été récoltée dans la zone 4.

periode	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6	zone 7	zone 8	zone 9	zone 10
s1	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s4	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0
s5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s6	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
s7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s8	12	12	0	12	0	0	0	0	0	0
s9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s14	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
s15	0	0	36	0	0	0	0	0	0	12

Tableau31 : le tableau qui déterminé le nombre de manouvre disponible (nm)

Ce tableau représente le nombre d'ouvriers ayant effectué le processus de récolte et le plus grand nombre d'ouvriers ayant réalisé l'opération de forgeage la zones 4.

Conclusion générale

La production nationale des dattes constitue une source importante du revenu des agriculteurs oasiens. Etant donné qu'environ la moitié de la production nationale est constituée par des variétés de qualité faible, ces agriculteurs ne bénéficient que partiellement de la valeur commerciale de leur production. En outre, une part importante de cette production de qualité faible est orientée vers l'alimentation animale. De ce fait, il est possible de donner plus de valeur à cette production à travers le développement d'une industrie de transformation des dattes de faible valeur commerciale. Plusieurs voies de valorisation de ce type de dattes existent. Ainsi, ces dattes peuvent être transformées en confiture, jus, gelée, pâte, sirop, etc.

Aussi, faut-il préciser que les technologies de transformation, de conditionnement et de conservation des dattes ont des degrés de technicité et de savoir-faire différents. Certaines sont très simples et ne nécessitent pas des investissements importants. Elles peuvent par conséquent, faire l'objet de montage de petites unités de transformation, conditionnement et/ou conservation (coopératives). Tandis que d'autres technologies, destinées aux grandes unités industrielles, nécessitent des bases de connaissance approfondies et un matériel moderne pour les grandes capacités de traitement. Toutefois, pour toutes les unités de transformation, conditionnement ou conservation des dattes, l'encadrement hautement qualifié du personnel, une véritable gestion des ressources humaines et la maîtrise de la qualité hygiénique et sanitaire des produits élaborés sont la clé de la réussite et de la pérennité d'une activité de valorisation de dattes.

Par ailleurs, les dattes bénéficiant d'une notoriété et d'une haute qualité marchande et les produits de la datte formulés sur la base du savoir-faire traditionnel de la population oasienne algériennes peuvent aussi faire l'objet d'actions de montage d'unités de valorisation. Ces actions permettront de préserver les pratiques ancestrales de production, transformation et conservation des dattes et de valoriser les dattes et les produits issus de ces pratiques traditionnelles sous des Signes Distinctifs d'Origine et de Qualité. La sauvegarde et la valorisation de ces produits permettront en outre, de revenir au label naturel des produits de terroirs et de renouer avec une alimentation traditionnelle considérée comme plus goûteuse et équilibrée.

Enfin, la datte présentant des propriétés nutritionnelles, fonctionnelles, pharmacologiques et cosmétiques très intéressantes, elle ouvre d'autres voies prometteuses de valorisation par les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques.



BIBLIOGRAPHIE

- Chabana H.A. & Al-Chariki R.M.K.**, 2000. Le palmier dattier et la production des dattes aux Emirats Arabes Unis. Ministère de l'Agriculture et de la Richesse halieutique, Abu Dhabi, Emirats Arabes Unis, 246 p.
- Estanove P.**, 1987. Technologie de la datte. In : Le palmier dattier. Séminaire. Association du Grand Ismaïlia, 26-28 novembre 1987, Dar Al Thakafaéds., Meknès, Maroc, 104-113.
- Harrak H.**, 2001. Qualité et Valorisation technologique des dattes. Actes du Colloque National sur le Palmier dattier, Zagora, Maroc, 6 octobre, pp. 7-34.
- Harrak H.**, 2011. Manuel pratique de la valorisation technologique des dattes. Qualité, hygiène et procédés. INRA, ORMVA d'Ouarzazate, CTB, 123 p.
- Barreveld W.H.**, 1993. Date Palm Products. FAO Agricultural Services Bulletin N° 101, Rome, Italie, 216 p.
- Belguedj N.**, 2010. Valorisation d'une variété de datte sèche, Mech-Degla. Essai de formulation d'un yaourt amélioré à la farine de datte. Mémoire, INATAA, Université Mentouri de Constantine, Algérie, 71 p.
- Chetto A., Harrak H. & El Hachami N.**, 2005. Le marketing des dattes au Maroc : Défaillances, Préférences et Attentes. INRA éds., Rabat, Maroc, 96 p.
- CIRAD**, 2000. Les actions dans le domaine de la maîtrise de la qualité et de l'agro-alimentaire au CIRAD-Flhor, Années 1999/2000. CIRAD-Flhor, Montpellier, France, 33 p.
- Djerbi M.**, 1994. Précis de phoeniculture. FAO, 192 p.
- Dupaigne P. & Munier P.**, 1965. Préparations nouvelles à partir de la datte. Fruits 20 (8) 420-424.
- Espiard, E.**, 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Editions Tec & Doc. Lavoisier. Londres- Paris-New-York.
- Estanove P.**, 1991. Note technique : Valorisation de la datte, Options Méditerranéenne. Les systèmes agricoles Oasiens. Série A n°11.
- Estanove P.**, 1987. Technologie de la datte. In : Le palmier dattier. Séminaire. Association du Grand Ismaïlia, 26-28 novembre 1987, Dar Al Thakafa éds., Meknès, Maroc, 104-113.
- Harrak H., Reynes M., Lebrun M., Hamouda A. & Brat P.**, 2005. Identification et comparaison des composés volatils des fruits de huit variétés de dattes marocaines. Fruits 60 (4) 267-278.

Khan M.U.D., 1980. Botanical relationship of dates (*Phoenix dactylifera*) : Palm and fruit characteristics. In : Training course in date palm production and protection, Islamabad, Pakistan, 1-18 March 1980, Part 1, FAO, NENADATES, 16-19.