



*publique algérienne démocratique et populaire Ministère de
l'enseignement supérieur et de la Recherche scientifique*



*Université Saâd Dahlab Blida 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de Biologie et physiologie cellulaire*

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
du Diplôme de Master**

Option : Génie biologique

Thème

**Production de bioéthanol à partir de dattes de
faible valeur marchande**

Présenté le 30 juin 2014 par

Mme Guetni-Larras Lilia

Devant le jury

Mme CHAKHMA A.	MAA (FSNV)	Présidente
Mme KEBBAS S.	MAA (FSNV)	Examinatrice
Mme BOULKOUR S.	MAA (FSNV)	Examinatrice
Mme AMAROUCHE N.	MAA (FSNV)	Promotrice
Mme BESSAH R.	MRB (CDER)	Co-promotrice

Promotion 2012-2013

Remerciements

Je remercie Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui m'a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance à tous les membres de ce jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

*Que **Madame CHAKHMA** trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour l'honneur qu'elle me fait en président ce jury.*

*Que **Madame AMAROUCHE**, ma promotrice, trouve ici l'expression de mon profond respect pour sa confiance en moi, son soutien, ses encouragements et la patience dont elle a fait preuve pour mener à bien ce travail.*

*Je suis très heureuse de compter dans ce jury **Madame KEBBAS**, qui me fait l'honneur de juger ce travail. Ses remarques me seront certainement profitables et enrichissantes.*

*Je suis très honorée de compter dans ce jury **Madame BOULKOUR**, qui me fait le plaisir d'examiner ce travail. Ses critiques me seront assurément bénéfiques.*

*Ma reconnaissance va au Professeur **N. YASSAA**, directeur du CDER, pour avoir mis à ma disposition le cadre et les moyens nécessaires pour la réalisation de ce mémoire. Qu'il en soit remercié.*

*Mes remerciements vont à **Madame R. BESSAH**, ma co-promotrice, ma collègue et mon amie, pour ses conseils, ses encouragements ainsi qu'au temps qu'elle m'a consacré.*

Liste des figures

Figure I : Représentation schématique de palmier dattier.....	4
Figure II : Spathes, inflorescences et fleurs du palmier dattier.....	4
Figure III : Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier.....	6
Figure IV : Différentes étapes de maturité de la datte.....	7
Figure V : Les principales étapes de la production d'éthanol.....	17
Figure VI : Schéma récapitulatif de la voie de production d'éthanol et des voies métaboliques pouvant conduire à la production de sous-produits.....	24
Figure VII : Les quatre variétés de dattes considérées dans cette étude.....	27
Figure VIII : Courbe étalon du glucose à 0.01% (sucre totaux par la méthode Dubois).....	34
Figure IX : Courbe étalon du glucose (sucres réducteurs par la méthode de DNS).....	35
Figure X : Diagramme de production de l'éthanol.....	36
Figure XI : Dimension des dattes des quatre variétés étudiées.....	40
Figure XII : Pourcentage de la pulpe et du noyau dans les dattes entières.....	41
Figure XIII : Teneur en eau, matière sèche et taux de cendres des variétés de dattes étudiées	42
Figure XIV : pH et acidité titrable .des variétés de dattes étudiées.....	43
Figure XV : Taux des solides solubles (°Brix) , des protéines et matières grasse des variétés de dattes étudiées.....	44
Figure XVI : Teneurs en sucres totaux, réducteurs et saccharose chez les variétés de dattes étudiées.....	45
Figure XVII : Evolution du pH durant la fermentation alcoolique.....	47
Figure XVIII : Evolution du °Brix au cours de la fermentation alcoolique des moûts de dattes des quatre variétés.....	48
Figure XIX : Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Degla Beïda.....	48
Figure XX : Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Mech Degla.....	49
Figure XX I : Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Timjoughart.....	49
Figure XXII : Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Takerbucht.....	50

Figure XXIII. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Degla Beïda.....	52
Figure XXIV. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Mech Degla.....	52
Figure XXV. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Timjouhart.....	53
Figure XXVI. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Takerbucht.....	54

Liste des tableaux

Tableau I : Classification botanique du palmier dattier.....	3
Tableau II : Superficie et nombre de palmiers complantés en Algérie.....	5
Tableau III : Production de dattes en Algérie et rendements.....	11
Tableau IV : Les propriétés physiques de l'éthanol et de l'essence.....	15
Tableau V : Classification de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	22
Tableau VI : Caractéristiques morphologiques des quatre variétés de dattes	40
Tableau VII : Poids moyen frais de la pulpe et du noyau pour chaque variété de dattes...	41
Tableau VIII : Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du mout de fermentation de la variété Degla Beïda.....	51
Tableau IX : Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du mout de fermentation de la variété Mech Degla.....	52
Tableau X : Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du mout de fermentation de la variété Timjouhart.....	53
Tableau XI : Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du mout de fermentation de la variété Takerbucht.....	53

Résumé

L'objectif de cette étude est la valorisation des dattes de faible valeur marchande, Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart et Takerbucht pour la production de bioéthanol. Les analyses effectuées ont porté sur les paramètres morphologiques (taille, longueur, poids, couleur et consistance) et sur la composition physicochimique à travers l'estimation des paramètres suivants : teneur en eau, pH, acidité, °Brix, sucres totaux, sucres réducteurs, matières grasses et protéines. Après la fermentation et la distillation, des analyses ont été effectuées par GCMS. Les résultats montrent que les paramètres morphologiques des quatre variétés diffèrent. Les dattes des variétés Degla Beïda et Mech Degla sont de consistance sèche et sont riches en saccharose. Par contre les variétés Timjouhart et Takerbucht sont des dattes de consistance demi-molle et contiennent des proportions presque égales en sucres réducteurs et en saccharose. Les résultats obtenus ont montré que les jus extraits à partir de ces quatre variétés sont riches en sucres totaux et en saccharose, mais sont pauvres en protéines et matières grasses. Les résultats de la fermentation alcoolique ont montré que la levure *Saccharomyces cerevisiae* produit l'alcool avec des degrés de 11° pour Degla Beïda, 10.2°, 8.7°, 9.2° pour Mech Degla, Timjouhart et Takerbucht respectivement .

Mots clés : Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart, Takerbucht, jus de datte, fermentation alcoolique, *Saccharomyces cerevisiae*, bioéthanol.

المُلخَص

الهدف من هذه الدراسة هو تقيم التمور ذات القيمة التجارية المنخفضة مثل الدقلة البيضاء، ماش دقلة، وتيمجوهرت تكربشت لإنتاج الإيثانول . أجريت التحاليل المورفولوجية (الحجم، والطول والوزن واللون والملمس) والفيزيائية لتقدير المحتوى المائي، درجة الحموضة، الحموضة، درجة برقس، السكريات الكلية، السكريات المختزلة، الدهون والبروتينات. بعد التخمير والتقطير، أجريت التحاليل GCMS .

أظهرت النتائج أن المعلمات المورفولوجية للأصناف الأربعة المختلفة. أصناف التمور الدقلة البيضاء و ماش دقلة جافة وغنية بالسكرز على عكس التمور تيمجوهرت و تكربشت فهي شبه لينة و نسب متساوية تقريبا من السكريات المختزلة و السكرز.

أظهرت النتائج. إن العصير المستخرج من هذه الأصناف الأربعة هي غنية بالسكريات الكلية والسكرز، ولكن منخفضة في البروتين والدهون.

أظهرت نتائج التخمير أن خميرة الخباز قادرة على إنتاج الكحول مع درجات متفاوتة من 11° بالنسبة للدقلة البيضاء، 10.2°، 8.7° و 9.2° لكل من ماش دقلة، تيمجوهرت و تكربشت على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الدقلة البيضاء، ماش دقلة، وتيمجوهرت، تكربشت، عصير التمور، التخمر الكحولي، الخميرة الجعوية، الإيثانول.

Abstract

The objective of this study is the valorization of dates with low commercial value, Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart and Takerbucht for the production of bioethanol. The analyzes carried out related on the morphological parameters (size, length, weight, color and consistency) and to the physico-chemical composition through the estimate of the following parameters: water content, pH, acidity, °Brix, total sugars, reducing sugars, fat contents and proteins. After fermentation and distillation, analyzes were carried out by GCMS.

The results show that the morphological parameters of the four varieties are different. The dates of the varieties Degla Beïda and Mech Degla have a dry consistency and are rich in sucrose. On the other hand, the varieties Timjouhart and Takerbucht are half-soft consistency dates; they contain almost equal proportions of reducing sugars and sucrose. The results obtained showed that the juices extracted from these four varieties are rich in total sugars and sucrose, but are low in proteins and fat contents.

Alcoholic fermentation results showed that the yeast *Saccharomyces cerevisiae* produces alcohol with degrees of 11° for Degla Beïda, 10.2°, 8.7°, 9.2° for Mech Degla, Timjouhart and Takerbucht respectively.

Key words: Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart and Takerbucht, juice of date, alcoholic fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, bioethanol.

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I: partie bibliographiques	
1. Le palmier dattier et la datte.....	3
1. 1. Généralités sur le palmier dattier.....	3
1. 2. Généralités sur la datte.....	5
2. Le bioéthanol.....	14
2. 1. Généralités sur le bioéthanol.....	15
2. 2. Propriétés physiques.....	15
2. 3. Applications industrielles de l'éthanol.....	16
2. 4. Les différentes générations de bioéthanol.....	16
2. 5. Procédés de production du bioéthanol.....	17
3. La levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	21
3. 1. Généralités.....	22
3. 2. Exigences nutritionnelles de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	22
3. 3. Les différents types de métabolismes.....	23
Chapitre II: Matériels et méthodes	
4. Matériel et méthodes.....	27
4.1. Matériel biologique.....	27
4. 2. Méthodes d'analyses.....	28
4. 2. 1. Caractérisation morphologique des dattes.....	28
4. 2. 2. Caractérisation physicochimique de la pulpe.....	28
4. 3. Production du jus de dattes.....	33
4. 4. Production de bioéthanol.....	36
4. 4. 1. Déroulement de la fermentation.....	36
4. 4. 2. Les méthodes analytiques.....	37
4. 4. 3. La distillation.....	38
4. 4. 4. Dosage de l'alcool (le bioéthanol).....	38
Chapitre III: Résultats et discussions	
5. Résultats et discussion.....	40
5. 1. Caractéristiques morphologiques et physicochimique.....	40
5.2. Production de bioéthanol.....	47
Conclusion.....	55
Références bibliographiques.....	66
Annexes	

Introduction

L'augmentation de la consommation d'énergie, l'épuisement des réserves d'énergies fossiles et l'émission des gaz à effet de serre sont actuellement l'un des problèmes majeurs auxquels l'humanité est confrontée (**Wenjie, 2011**).

Face à ces problèmes, la solution devrait être liée à la sécurité des ressources énergétique, à la stabilité du coût de l'énergie et au développement durable. Par conséquent, la transition vers les énergies renouvelables est indispensable. En effet, ces énergies sont considérées comme une solution durable et une source fiable pour l'approvisionnement en énergie dans l'avenir (**Sakaguch, 2010**).

Le choix le plus pratique et le plus attrayant pour remplacer progressivement les combustibles fossiles comme principale source d'énergie seraient les biocarburants qui sont une source d'énergie renouvelable produite à partir de la biomasse (**Yaliwal, 2014**). Parmi tous les biocarburants, le bioéthanol, produit à partir de trois principaux groupes de matières premières – les plantes sucrières, la biomasse lignocellulosique et algale – est considéré comme une alternative appropriée au carburant, utilisé seul ou mélangé à l'essence dans les moteurs.

Par ailleurs, les possibilités de valorisation énergétique par différents procédés biotechnologiques de la biomasse en bioéthanol représentent une solution de choix pour l'utilisation des produits agricoles de faible valeur commerciale, les rejets des industries agroalimentaires et les résidus de récoltes.

Les cultivars de dattes en Algérie sont nombreux et sont estimés à plus de 940 (**Hannachi et al., 1998**). Ces ressources sont très mal exploitées, à l'exception de Deglet Nour et à un degré moindre Ghars, Degla Beïda et Mech Degla, qui présentent une importance économique majeure (**Buelguedj, 2001**).

Aujourd'hui, grâce aux procédés biotechnologiques, il est possible de valoriser en bioéthanol les dattes communes de faible valeur marchande qui constituent une solution intéressante sur le plan économique vu leur richesse en sucres fermentescibles et leur pouvoir de conservation relativement long. Cela, sachant qu'actuellement, l'Algérie importe entre 30 000 et 50 000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins (**Açourene, 2012**).

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude qui se fixe pour objectifs de valoriser les dattes de faible valeur marchande qui sont Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart et Takerbucht par des essais d'optimisation de production d'éthanol. En effet, ces dattes sont riches en sucres qui peuvent être utilisés comme source carbonée de fermentation pour la production de bioéthanol **(Boulbaba, 2012)**.

Le présent travail se compose de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux données bibliographiques présentant l'essentiel de l'état des connaissances sur, d'une part, la datte, sa composition et les différentes voies développées pour sa valorisation et, d'autre part, sur le bioéthanol et la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

- Le deuxième chapitre expose la méthode de travail suivie, et qui se compose des parties suivantes :

- étude des caractéristiques morphologiques, physicochimiques et biochimique des quatre variétés de dattes
- extraction des jus de dattes à partir des broyats des quatre variétés de dattes
- fermentation alcoolique des quatre mouts de dattes
- distillation des quatre vins de dattes
- analyse par GCMS chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

- Enfin le dernier chapitre présente les résultats obtenus.

1. Le palmier dattier et la datte

1. 1. Généralités sur le palmier dattier

Phoenix dactylifera L., ou palmier dattier, provient du mot «*Phoenix*» qui signifie dattier chez les Phéniciens, et «*dactylifera*» dérive du terme grec «*dactulos*» signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (Djerbi, 1994).

Phoenix dactylifera L. est l'une des espèces les plus importantes de la famille des Palmacées ou *Arecaceae*, qui regroupe environ 200 genres et plus de 2500 espèces (El Hadrami et El Hadrami, 2009; Jain et al, 2011) dont quatre semblent étroitement liées au palmier dattier : *Phoenix atlantica* A. Chev., *Phoenix canariensis* Chabaud, *Phoenix sylvestris* (L.) Roxb. et *Phoenix theophrasti* Greuter (Barrow, 1998; Pintaud et al., 2010). Le palmier dattier est une plante pérenne diploïde ($2n = 36$) monocotylédone (Munier., 1973; Vall et al., 2011). Sa place dans le règne végétal est rappelée dans le Tableau I.

Tableau I. Classification botanique du palmier dattier (Munier., 1973).

Groupe	Spadiciflores
Ordre	Palmales
Famille	Palmacées
Sous-famille	Coryphoïdées
Tribu	Phoenicées
Genre	Phoenix
Espèce	<i>Dactylifera</i> L.

1. 1. 1. Morphologie

Le palmier dattier est un grand arbre qui s'élève à plus de 20 mètres de haut. Sa durée de vie est de 70 à 100 ans (Mohan, 2012). Le tronc ou stipe monopodique, cylindrique et sans cerne de croissance, est terminé par un unique bourgeon d'où émergent de longues feuilles pennées de 5 à 6 mètres de long (Figure I). Il ne porte jamais de branches. Le long du stipe, on distingue les cicatrices foliaires et traces des palmes sèches. C'est seulement au bout de quatre à cinq ans, quand il fleurit et que les spathes (Figure II) éclatent, laissant apparaître une grande quantité de fleurs, qu'on reconnaît l'arbre mâle de l'arbre femelle. En effet, le palmier est dioïque. Ses fruits, les dattes, se présentent en énormes grappes ou régimes (Benchelah et Maka, 2006).

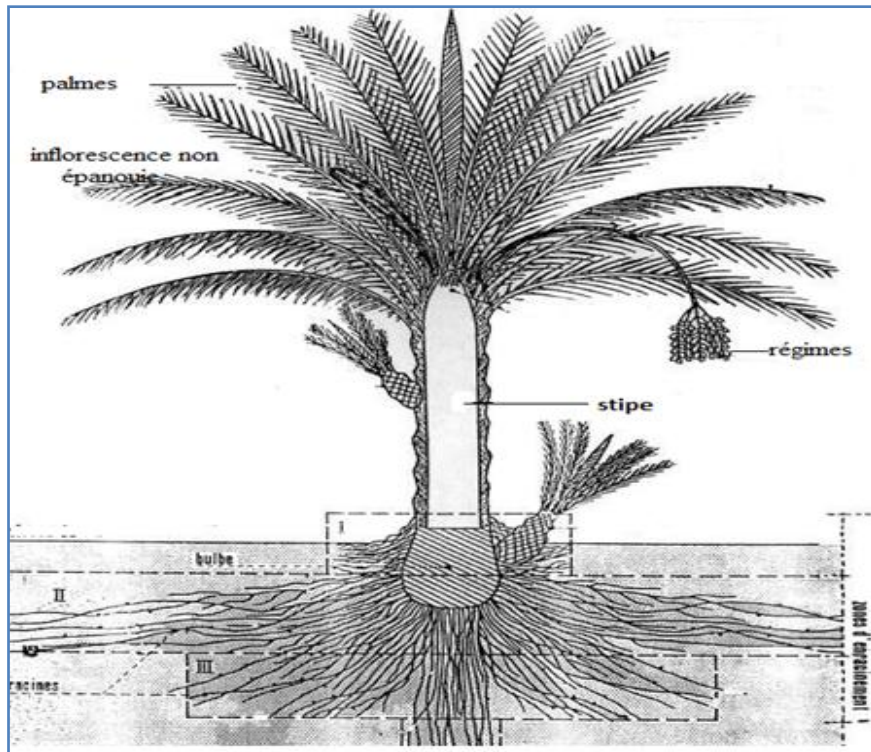


Figure I. Représentation schématique du palmier dattier (Munier, 1973).

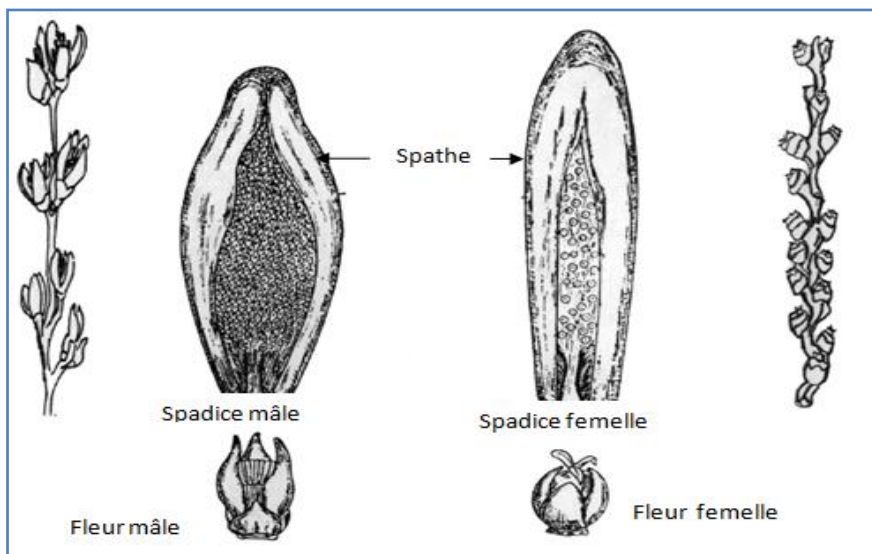


Figure II. Spathes, inflorescences et fleurs du palmier dattier (Munier, 1973).

1. 1. 2. Ecologie et répartition géographique

Le dattier est une espèce thermophile ; il exige un climat chaud, sec et ensoleillé. C'est un arbre qui s'adapte à tous les sols. Il se rencontre dans les régions tropicales et subtropicales du monde entier ainsi que dans les régions tempérées et arides (El Hadrami et El Hadrami, 2009). Il pousse dans des régions presque sèches à la latitude 9-39° du Nord, qui sont

représentées par le Sahara et les zones limitrophes du Proche-Orient (Péninsule arabique, Irak du Sud et Jordanie) (El Hadrami et Al-Khayri, 2012) ainsi que dans des zones comme la Californie, l'Arizona et le Mexique qui enregistrent une bonne production. L'exigence commune du palmier dattier dans toutes ces zones de croissance est une température élevée (35°C) nécessaire pour un développement optimal du pollen et une basse humidité relative pour l'arrangement et la maturation du fruit (Munier, 1973).

Beaucoup de palmiers adaptés au climat du désert demandent de grandes quantités d'eau apportées grâce à leur système racinaire bien développé qui permet d'absorber l'eau à partir des profondeurs ou bien des surfaces d'irrigation. En Algérie, le Tableau II résume les différentes régions où le dattier est présent.

Tableau II. Superficie et nombre de palmiers complantés en Algérie.

WILAYA	Superficie occupée	Deglet nour (Dattes fines)	Ghers et Analogues (Dattes molles)	Degla Beida et Analogues (Dattes sèches)	Total Palmier-dattier
	ha	Nbre d'arbre	Nbre d'arbre	Nbre d'arbre	Nbre d'arbre
1 ADRAR	27 748	0	0	3 704 782	3 704 782
3 LAGHOUAT	310	8 970	12 335	11 290	32 595
5 BATNA	192	8 506	9 193	10 857	28 556
7 BISKRA	42 040	2 585 251	540 417	1 087 664	4 213 332
8 BECHAR	13 870	0	0	1 590 722	1 590 722
11 TAMANRASSET	7 000	0	0	688 882	688 882
12 TEBESSA	812	39 000	22 400	0	61 400
17 DJELFA	100	6 310	2 160	813	9 283
28 M'SILA	0	0	0	0	0
30 OUARGLA	21 374	1 358 198	987 138	161 284	2 506 620
32 EL-BAYADH	917	2 140	75 850	0	77 990
33 ILLIZI	1 220	7 727	74 213	43 760	125 700
37 TINDOUF	434	0	45 206	0	45 206
39 EL-OUED	36 191	2 413 301	701 403	615 116	3 729 820
40 KHENCHELA	746	50 200	60 300	11 542	122 042
45 NAAMA	506	1 790	48 810	0	50 600
47 GHARDAIA	10 525	516 750	216 570	480 790	1 214 110
TOTAL ALGERIE	163 985	6 998 143	2 795 995	8 407 502	18 201 640

(Source : ministère de l'Agriculture, 2012)

1. 2. Généralités sur la datte

La datte est le fruit du palmier dattier. C'est une baie à une seule graine : le noyau, avec un mésocarpe épais et charnu, la pulpe, recouvert d'un péricarpe très fin. Le noyau est dur avec un endocarpe réduit à une mince membrane (**Figure III**). Les dimensions de la datte sont très variables : de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 grammes selon les variétés. Leur

couleur va du blanc-jaunâtre au noir, en passant par les couleurs ambre, rouge, brune plus ou moins foncée (Djerbi, 1994).

La maturation de la datte est longue, elle débute vers les mois de mars-avril, tandis que la récolte commence en octobre dans le nord du Sahara. Dans les oasis du Sahara central, les premières dattes sont cueillies dès le mois d'août et même en juillet. Plus au Sud, le régime des pluies diffère, les dattes sont alors cueillies début juillet, avant les pluies d'été (Munier, 1973; Benchelah et Maka, 2006).

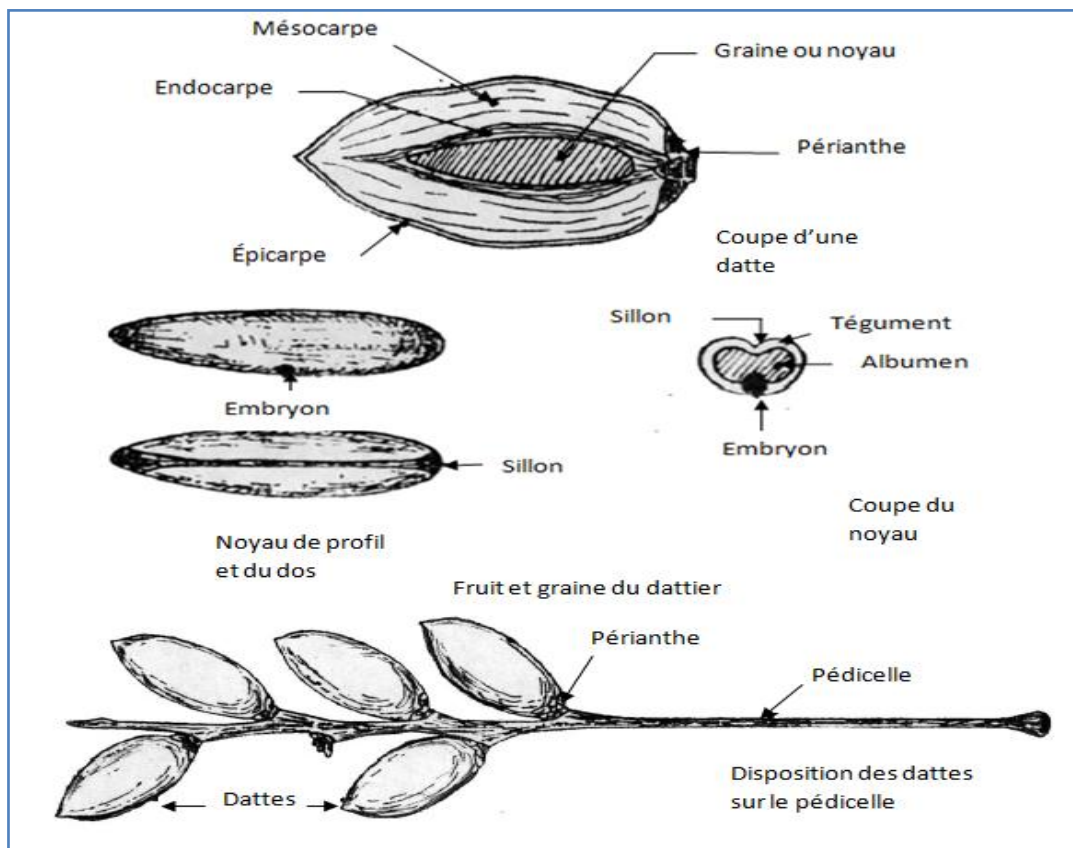


Figure III. Morphologie et anatomie du fruit et de la graine du palmier dattier (Munier, 1973).

1. 2. 2. Les stades de maturation de la datte

Au cours de la croissance et le développement du fruit, plusieurs changements internes et externes sont observés, qui touchent aussi la couleur et la composition chimique. Les stades de maturation sont classés en cinq étapes (les expressions utilisées sont celles de la nomenclature irakienne) : Hababouk, Kimri, Khalal, Rutab et Tamar et les mêmes termes sont internationalement reconnus (Al-Shahib et Marshall, 2003a; Ahmed et al., 1995) (Figure IV).

- **Stade Hababouk** : c'est la première étape après la fécondation et dure quatre à cinq semaines. Les fruits sont immatures et entièrement recouverts par le calice laissant seulement une extrémité pointue de l'ovaire visible. Le fruit à cette étape pèse environ un gramme.
- **Stade Kimiri** : le développement de la dattes est la plus longue et dure de neuf à quatorze semaines. Il y a une transition visible à partir d'une petite baie à la forme longue caractéristique de la dattes. Le fruit est de couleur verte, assez dur, avec une composition de la matière sèche de 80% d'humidité et 50% de sucre (glucose et fructose). Il est généralement amer et impropre à la consommation.
- **Stade Khalal** : à ce stade, la couleur change du vert au jaune-verdâtre, jaune, rose ou rouge, selon la variété. Cette étape dure six semaines et le fruit est physiologiquement mûr et dur. Il atteint le poids et la taille maximums à la fin de cette étape. Une augmentation rapide dans les résultats de concentration de sucre suite à la diminution de la teneur en eau (de l'ordre de 50 à 85% d'humidité) est relevée.
- **Stade Routab** : cette étape dure entre deux à quatre semaines. Le sommet commence la maturation et la texture du fruit devient molle. L'astringence de l'étape précédente est peu à peu perdue et le fruit commence à acquérir une couleur brune ou noire. En raison de la perte constante de la teneur en humidité, le poids diminue encore. Il y a un gain en sucres totaux avec augmentation concomitante de la vitesse de conversion du saccharose en sucres simples. **Kenner et al. (1978) (in Reynes, 1997)** indique que le taux d'évaporation de l'eau est faible dans les fruits où l'activité spécifique de l'invertase est élevée. Il y a plus d'évaporation dans le cas où l'activité invertasique est faible. Cela explique le fait que les dattes molles soient à sucres réducteurs.
- **Stade Tamr** : à cette dernière étape de la maturation, les dattes apparaissent déshydratées. Elles renferment près de 50% de saccharose et 50% de sucres réducteurs. Dans la plupart des variétés, la peau adhère à la chair molle et la couleur de la peau s'assombrit.



Figure IV. Différentes étapes de maturité de la dattes (Manjeshwar, et al., 2013).

1. 2. 3. Classification des dattes

D'après la consistance, on distingue, à maturité, trois catégories de dattes :

- **Dattes molles** : elles sont pâteuses et visqueuses et la chair manque de consistance (Toutain, 1972). Ces fruits sont pour la plupart riches en sucres réducteurs (Dowson et Aten, 1963). La teneur en eau est supérieure à 30% (Hussein et al., 1976). Ces dattes sont mises à sécher ensuite agglomérées en pâte et conservées dans des outres ou des sacs en toile, c'est le cas du cultivar Ghars (Benchelah et Maka, 2006).
- **Dattes demi-molles** : le fruit est de texture élastique et visqueuse, contenant des proportions presque égales en sucres réducteurs et en saccharose (Toutain, 1972). La teneur en eau varie entre 20 et 30% (Hussein et al., 1976). Ces dattes sont réservées à la vente et à l'exportation, c'est le cas de la variété Deglet Nour (Benchelah et Maka., 2006).
- **Dattes sèches** : le fruit est de consistance solide et dure et contient plus de saccharose que de sucres réducteurs. La teneur en eau est inférieure à 20% (Hussein et al., 1976). Ces dattes sont dénoyautées et conservées dans des paniers ou réduites en farine, c'est le cas des cultivars Degla Beïda et Mech Degla (Benchelah et Maka, 2006).

1. 2. 4. Les variétés de dattes

Les variétés de dattes sont très nombreuses, mais seulement quelques-unes ont une importance commerciale. Elles se différencient par la saveur, la consistance, la forme, la couleur, le poids et les dimensions (Buelguedj, 2001). En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes (Hannachi et al., 1998) dont les principaux sont :

- **Deglet Nour** : variété commerciale de premier choix, c'est une datte caractérisé par sa consistance demi-molle, sa couleur claire et son aspect translucide, ce qui lui offre une valeur marchande élevée (Boubekri, 2010).
- **Les variétés communes** : la structure variétale de la palmeraie algérienne fait apparaître que les variétés communes de faible valeur marchande sont particulièrement concentrées dans le sud-ouest du pays .Cette catégorie de dattes comprend les dattes sèches et les dattes molles. La production de ce type de dattes est estimée à 53%, elle comprend trois variétés : Ghars, Degla Beida et Mech Degla (Buelguedj, 2001; Djidel, 2007). Ces variétés ont une moindre importance économique par rapport à Deglet Nour.

- **Les variétés secondaires** : il en existe plus de 150 sortes et les plus répandues sont : Hamra, Tinnaceur, Tegaza, Tezerzait et Takerouchet. Cette dernière présente un intérêt particulier pour sa résistance au Bayoudh (**Boughnou, 1988**).

1. 2. 5. Composition biochimique de la datte

Les dattes prennent une grande importance dans l'alimentation humaine en raison de leur contenu riche en nutriments essentiels qui comprennent les hydrates de carbone, des sels et des minéraux, des fibres alimentaires, des vitamines, des acides gras, des acides aminés et des protéines (**Chandrasekaran et Bahkali, 2013**).

1. 2. 5. 1. Composition biochimique de la partie comestible : la pulpe

– **L'eau** : la teneur en eau est fonction des variétés, du stade de maturation et du climat. Elle varie entre 8 et 30% du poids de la chair fraîche avec une moyenne de 19% (**Noui, 2007**).

– **Les sucres** : les dattes sont particulièrement riches en hydrates de carbone. Les sucres, surtout le fructose, le glucose, le mannose, le maltose et autres sucres non réducteurs tels que le saccharose, représentent plus de 80% de la matière sèche. Ceci n'exclut pas la présence d'autres sucres en faible proportion tels que le galactose, le xylose et le sorbitol (**Siboukeur, 1997**). Le rapport glucose/fructose varie entre 1 et 2 selon le cultivar et le stade de maturation. La petite quantité d'hydrates de carbone trouvés dans les dattes est représentée par les polysaccharides tels que la cellulose et l'amidon (**Shinwari, 1993**).

– **Les protéines et les acides aminés** : les dattes renferment 2,3-5,6% de protéines. Les protéines de la datte contiennent 23 types d'acides aminés, dont certains ne sont pas présents dans les fruits les plus populaires tels que les oranges, les pommes et les bananes (**Al-Shahib et Marshall, 2003a**).

– **Les acides gras** : la chair des dattes contient 0.2- 0.5% d'huile, tandis que les graines en contiennent 7.7- 9.7% (**Al-Hooti et al., 1998**). Les acides gras apparaissent comme une gamme d'acides saturés (caprique, laurique, myristique, palmitique, stéarique, margarique, arachidique, heneicosanoic, béhénique et tricosanoïque) et insaturés (palmitoléique, oléique, linoléique et linoléinique) (**Al-Shahib et Marshall, 2003b**).

– **Les éléments minéraux** : les dattes contiennent au moins 15 minéraux essentiels, dont le phosphore, le potassium, le sodium, le zinc, le manganèse, le magnésium, le cuivre, le fer, le fluor et le sélénium (**Al-Shahib et Marshall., 2003a, b**). Selon le minéral, la teneur varie de

0,1 à 1000 mg par 100 g de matière sèche. La variation dépend également de la variété cultivée et du stade de la maturation de la plante (**Al-Hooti et al., 1995**).

– **Les vitamines** : les dattes contiennent au moins six vitamines dont une petite quantité de vitamine C, les vitamines B (1) thiamine, B (2) riboflavine, acide nicotinique (niacine) et de la vitamine A (**Al-Shahib et Marshall, 2003b**). Certaines de ces vitamines fournissent 10-50% de l'apport quotidien recommandé pour un adulte. Les fruits mûrs ont été signalés pour contenir une quantité importante de caroténoïde lutéine, y compris diverses formes de β -carotène. Le contenu varie selon le cultivar et le stade de maturité. (**El Hadrami et Al-Khayri ., 2012**).

– **Les fibres** : la datte est riche en fibres, elle en apporte 8,1 à 12,7% du poids sec (**Al-Shahib et Marshall, 2002**). Selon **Noui (2007)**, les constituants pariétaux de la datte sont la pectine, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

1. 2. 5. 2. Composition biochimique de la partie non comestible : le noyau

Le noyau présente 7 à 30% du poids de la datte. Il est composé d'un albumen blanc, dur et corné protégé par une enveloppe cellulosique (**Espiard, 2002**). **Abbou-Zeid et al. (1991)** ont démontré que la composition en lipides du noyau de dattes est plus élevée que celle de la pulpe ; elle peut varier de 8,9 à 10,4%. D'autres données analytiques montrent que le noyau contient plusieurs acides gras avec une proportion plus importante en acide oléique (42,3%) et laurique (21,8%) (**Deshony et al., 1992**). Des études réalisées sur la valeur alimentaire de plusieurs cultivars montrent que les noyaux de dattes sont riches en fibres (71 à 94%) (**Al-Farsi et lee., 2008**).

Selon **Djerbi (1994)**, les noyaux constituent un sous-produit intéressant. En effet, de ces derniers, il est possible d'obtenir une farine dont la valeur fourragère est équivalente à celle de l'orge.

1. 2. 6. Production de dattes dans le monde

La **FAO (FAOSTAT, 2010)** estime que la superficie totale moissonnée est de 1,3 million d'hectares en 2009. Cette surface a augmenté de 0,3 million d'hectares au cours de la décennie précédente. La plus grande zone, qui est de 833,351 ha, est localisée sur le continent asiatique, qui inclut les pays du Moyen-Orient suivis par l'Afrique du Nord (392,200 ha). En Amérique et en Europe, la production couvre seulement quelques milliers d'hectares. En 2009, la production mondiale de dattes a été estimée à 7,3 millions de tonnes représentant une

augmentation de plus de 1 million de tonne en une décennie. Cette production reflète les zones hautement productives avec un total de 2,7 mt partagé entre l’Afrique du Nord et le Moyen-Orient. Selon les statistiques de la **FAO (FAOSTAT, 2010)**, le plus grand producteur du monde pendant les cinq dernières années était l’Egypte avec une moyenne de 1,3 mt suivi par l’Iran avec plus de 1 mt, l’Arabie Saoudite 979,017 mt, les Emirats arabes 754,400 mt, le Pakistan et l’Algérie chacun avec 540,000 mt et le Soudan 333,500 mt. D’autres pays comme la Libye, la Tunisie, le Maroc, le Yémen, la Mauritanie, les USA, Bahrein, le Qatar, l’Espagne et le Koweït ont une production significative (**El Hadrami et Al-Khayri, 2012**). Les taux de production de dattes en Algérie ainsi que leur rendement sont présentés dans le Tableau III.

Tableau III. Production de dattes en Algérie et rendements.

WILAYA	Deglet nour Dattes fines		Ghers et analogues Dattes molles		Degla Beida et analogues Dattes sèches		Ensemble palmier dattier	
	Production	Rdt	Production	Rdt	Production	Rdt	Production	Rdt
	qx	kg/arbre	qx	kg/arbre	qx	kg/arbre	qx	kg/arbre
1 ADRAR	0	0,0	0	0,0	865 083	32,5	865 083	32,5
3 LAGHOUAT	1 108	78,0	4 859	78,0	4 891	78,0	10 858	78,0
5 BATNA	4 616	69,8	3 772	43,8	4 401	55,2	12 789	55,1
7 BISKRA	1 729 650	84,8	398 436	82,1	789 098	77,8	2 917 184	82,5
8 BECHAR	0	0,0	0	0,0	239 240	30,0	239 240	30,0
11 TAMANRASSET	0	0,0	0	0,0	108 590	24,3	108 590	24,3
12 TEBESSA	7 400	65,5	10 600	67,1	0	0,0	18 000	66,4
17 DJELFA	1 100	18,6	280	14,7	110	13,8	1 490	17,3
28 M'SILA	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
30 OUARGLA	634 346	62,0	435 946	52,6	61 009	54,0	1 131 301	57,5
32 EL-BAYADH	46	46,0	6 760	52,8	0	0,0	6 806	52,8
33 ILLIZI	685	29,0	9 230	33,0	5 669	25,0	15 584	29,4
37 TINDOUF	0	0,0	6 075	27,0	0	0,0	6 075	27,0
39 EL-OUED	1 334 793	66,7	392 150	61,9	295 927	61,5	2 022 870	64,9
40 KHENCHELA	22 500	59,7	29 600	55,0	6 800	58,9	58 900	57,2
45 NAAMA	0	0,0	8 800	55,0	0	0,0	8 800	55,0
47 GHARDAIA	195 000	49,3	78 000	54,7	197 000	44,6	470 000	48,0
TOTAL ALGERIE	3 931 244	71,2	1 384 508	61,3	2 577 818	42,9	7 893 570	57,2

(Source : ministère de l’Agriculture, 2012)

1. 2. 7. Valorisation de la datte

La valorisation spécialement des dattes communes apparaît comme une bonne alternative, puisque cette matière première est disponible en grande quantité et à un prix relativement bas. 30 à 50% de la production nationale est représentée par les dattes communes qui peuvent être transformées. Il existe deux méthodes de transformation technologique : la transformation directe et la transformation indirecte.

1. 2. 7. 1. Transformation directe

La datte peut se prêter à toutes sortes de préparations industrielles ou artisanales et de nombreux produits ont été élaborés.

– **La pâte de datte** : les dattes molles ou ramollies par humidification donnent lieu à la production de pâte de datte. La fabrication est faite mécaniquement. Cette pâte est utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (**Espiard, 2002**).

– **La farine de datte** : la farine de datte est préparée à partir de dattes sèches ou susceptibles de le devenir après dessiccation. Ces farines sont obtenues par simple broyage. Selon **Al-Ogaidi (1987)**, il est possible d'obtenir à partir de 100 kg de dattes sèches 50 kg de farine ayant une teneur en eau de 5%. Riche en sucres, cette farine est utilisée en biscuiterie, pâtisserie et aliments pour enfants (**Aït-Ameur, 2001**).

– **Les sirops, les crèmes et les confitures de dattes** : ces produits sont également fabriqués à base de dattes saines, afin d'éviter tout arrière-goût de fermentation. Cette gamme de produits est basée sur l'extraction des sucres à travers leur diffusion et celle des autres composants solubles de la datte (**Espiard (2002)**).

1. 2. 7. 2. Transformation indirecte

Ce type de transformation concerne généralement les dattes abîmées et celles à faible valeur marchande. Ces dattes, pourvues d'une forte teneur en sucre, peuvent servir pour la production de nombreux produits.

– **Biomasse et protéines unicellulaires** : la production de protéines reste un objectif essentiel afin de subvenir aux besoins mondiaux. A cet égard, des essais de production de protéines d'organismes unicellulaires par culture de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur un milieu à base de dattes ont été réalisés. Selon **Noui (2007)**, l'analyse des biomasses produites montre leur richesse en protéines à raison de 32 à 40% de poids sec.

– **Vinaigre** : du vinaigre a été produit par culture de la levure *Saccharomyces uvarum* sur un extrait de dattes (**Boughnou, 1988; Ould El Hadj et al., 2001; Benamara et al., 2008**).

– **Aliments pour animaux domestiques** : les rebuts et les noyaux de dattes constituent des sous-produits intéressants pour l'alimentation du bétail. La farine des noyaux de dattes peut être incorporée avec un taux de 10% dans l'alimentation des poulets (**Bacha, 2008**).

– Biocarburants

● **L'hydrogène** : l'hydrogène est produit principalement à partir de gaz naturel, une ressource finie, par reformage à la vapeur, un processus qui génère des quantités importantes de dioxyde de carbone (CO₂) qui est une cause principale du réchauffement climatique. Par conséquent, des procédés de substitution propres, qui reposent sur des matières premières renouvelables, doivent être développés (**Chandrasekaran et Bahkali, 2013**). La production d'hydrogène à partir de dattes pourries à travers trois étapes de fermentation a été réalisée en utilisant trois bactéries différentes (**Abd-Alla et al., 2011**). Une fermentation anaérobie facultative : *Escherichia coli* EGY a été utilisée dans cette première étape pour consommer l'oxygène et maintenir des conditions anaérobies strictes pour une deuxième fermentation sombre : la production d'hydrogène par *Clostridium acetobutylicum* ATCC est strictement anaérobie. Par la suite, une troisième étape de photo-fermentation avec *Rhodobacter capsulatus* DSM 1710 a été effectuée pour la production de H₂ (**Chandrasekaran et Bahkali, 2013**).

● **Le bioéthanol** : l'éthanol dérivé de la biomasse est renouvelable, non toxique, biodégradable et respecte l'environnement. C'est une source propre de combustible qui peut remplacer le carburant fossile ; c'est donc une alternative renouvelable et durable (**Balat et al., 2008**). Les dattes constituent un substrat de choix pour la production de l'alcool éthylique. Des essais de production d'alcool éthylique ont été réalisés à l'échelle laboratoire avec un rendement de 87% (**Ould El Hadj et al., 2001**). La sève de *P. dactylifera* se caractérise par sa teneur élevée en sucre (60-70%), ce qui fait d'elle une bonne source de fermentation microbienne (**Gupta et Kushwaha, 2011**). La fermentation de l'extrait de datte en éthanol et en vinaigre a été effectuée dans des réacteurs en continu ou en batch (**Mehaia et Cheryan., 1991**). Le sirop et les déchets de dattes ont été également utilisés pour la production d'éthanol (**Besbes et al., 2009**).

● **Le butanol** : acétone, butanol et éthanol (ABE) sont couramment utilisés comme solvants dans de nombreuses industries importantes et ont un potentiel élevé pour remplacer l'énergie dérivée de la pétrochimie. Le butanol, avec de petites quantités d'acétone et d'éthanol, est produit biologiquement à partir de la biomasse végétale par *Clostridium spp.* dans des conditions strictement anaérobies (**Jones et Woods, 1986; Qureshi et Ezeji, 2008**). Les fruits de *P. dactylifera* ont été évalués comme un substrat potentiel pour la fermentation d'ABE employant des cultures mixtes de *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824 et de *Bacillus subtilis* DSM 4451 (**Abd-Alla et El-Enany, 2012**).

– **Les lactobacilles probiotiques** : la datte, qui contient de grandes quantités de saccharose ainsi que des sucres réducteurs, offre des possibilités pratiques et peu coûteuses de se substituer au glucose requis par les lactobacilles lors de leur croissance et la production de la biomasse (**Al-Shahib et Marshall, 2003a**). Les sirop et noyaux de dattes ont été rapportés pour avoir une influence positive en tant que nutriments pour la culture de *Lactococcus lactis* et ont été proposés comme un substrat approprié pour la culture de microorganismes (**Khiyami et al., 2008**).

– **Les antibiotiques** : la datte et les déchets de datte ont été explorés comme possibles substrats pour la production de quelques antibiotiques. Dans la littérature disponible, il a été rapporté que la datte peut être utilisée avec succès comme substrat pour la production de la bléomycine et de l'oxytétracycline par des espèces de *Streptomyces* (**Chandrasekaran et Bahkali, 2013**). Le sirop de datte a été utilisé en tant que source de carbone supplémentaire dans le milieu pour la production de Bléomycine (BLM) par *Streptomyces mobaraensi* (**Radwan et al., 2010**).

– **Les enzymes** : la production industrielle d'enzymes commerciales telles que les amylases, lipases, cellulases, pectinases, invertases dépend en grande partie de production d'enzyme à bas prix formulés avec des substrats simples et bon marché pour la production économique d'enzymes. Les dattes et les déchets sont expérimentés comme substrats complémentaires dans la production d'enzymes. La levure *Candida guilliermondii* CGLA10 a été signalée pour produire l'alpha-amylase en utilisant les déchets de dattes (**Acourene et Ammouche, 2012**).

2. Le bioéthanol

2. 1. Généralités sur le bioéthanol

Le bioéthanol est l'alcool éthylique, l'alcool de grain ou chimiquement C_2H_5OH ou EtOH. C'est un liquide inflammable et incolore avec une odeur caractéristique agréable. Dans une solution aqueuse diluée, il a une saveur un peu sucrée, mais dans des solutions plus concentrées, il donne une sensation de brûlure au goûter. Le bioéthanol est produit par fermentation microbienne, par opposition à l'éthanol synthétiquement produit à partir de sources pétrochimiques (**Walker, 2010**).

L'utilisation du bioéthanol comme carburant automobile a une longue histoire. Les premiers prototypes de moteurs à combustion interne construits au XIXe siècle par Samuel Morey en

1826 et Nicholas Otto en 1876 ont pu utiliser l'éthanol comme carburant (**Demirbas et al., 2009**). En créant sa première voiture en 1896, Henry Ford présageait déjà d'utiliser de l'éthanol pur comme carburant, et en 1908 la Ford Model-T, la première voiture fabriquée en série, était un véhicule souple capable d'utiliser de l'éthanol en tant que carburant, de la même manière que de l'essence ou du mélange des deux (**Salomon et al., 2007**). L'utilisation du bioéthanol comme carburant a été répandue en Europe et aux Etats-Unis jusqu'au début de 1900. Après la Première Guerre mondiale, il y a eu une baisse de la demande pour l'éthanol, parce qu'il est devenu plus coûteux à produire que le carburant à base de pétrole.

2. 3. Propriétés physiques

A température ordinaire, l'éthanol est un liquide limpide, incolore, ayant une agréable odeur caractéristique, il est soluble dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques (**Walker, 2010**). Comme le montre le Tableau IV, le bioéthanol a de bonnes propriétés pour les moteurs à combustion interne, car son indice d'octane (cet indice correspond à la capacité d'un carburant à fournir de l'énergie au moteur sans générer de cognement ou de cliquetis (**Olivier, 2003**) est plus élevé que celui de l'essence. L'éthanol est un combustible oxygéné avec 35% d'oxygène, ce qui réduit les émissions de particules et d'oxydes d'azote (NO_x) de combustion. Son rapport H/C plus important (plus le rapport H/C est important, plus les émissions de CO₂ sont faibles) et ses limites d'inflammabilité sont plus larges avec des vitesses plus élevées. Ces propriétés permettent un temps de démarrage plus court, qui conduit à des avantages d'efficacité sur l'essence.

Tableau IV. Les propriétés physiques de l'éthanol et de l'essence (**Ballerini, 2006**).

Caractéristiques	Ethanol	Essence (standard)
Formule chimique	C ₂ H ₅ OH	C ₇ H ₁₆
Indice d'octane	111	95
Masse moléculaire (g/mol)	46.07	102.5
C (%poids)	52.2	86.5
H (% poids)	13.1	13.5
O (%poids)	34.7	0
Masse volumique (kg/m ³)	794	735-760
Point d'ébullition(C°)	78.4	30-190
Chaleur latente de vaporisation (kJ/kg)	854	289
Pouvoir calorifique inférieur massique (kJ/kg)	26805	42690
Rapport stœchiométrique	8.95	14.5
Pouvoir calorifique inférieur volumique (kJ/l)	21285	32020
Rapport H/C	3	2.29

2. 4. Applications industrielles de l'éthanol

Aujourd'hui, les applications industrielles utilisant l'éthanol sont nombreuses. Il sert de carburant, à l'éclairage et au chauffage. Il est utilisé comme combustible dans les moteurs à combustion interne à allumage par étincelle de deux manières : dans les mélanges d'essence et d'éthanol anhydre ou comme éthanol pur (**Allouache, 2012**). Il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées et entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les vernis, les encres, les matières plastiques, les adhésifs, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. Réputé pour ses qualités de solvant, il est utilisé dans l'industrie du nettoyage contre les graisses et les matières plastiques. L'éthanol est aussi utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides. En pharmacologie, il est utilisé pour ses propriétés de désinfectant et d'agent antiseptique (**Kacimi, 2008**).

2. 5. Les différentes générations de bioéthanol

Il existe générations de bioéthanol selon les matières premières utilisées.

- **Bioéthanol de première génération** : les plantes sucrières comme la betterave, la canne à sucre et le sorgho sucrier ainsi certains fruits (pommes, pêches, poires, abricots, figues, dattes et raisins) renferment des sucres directement fermentescibles en éthanol. Dans les tubercules comme la pomme de terre et le manioc, les sucres sont présents sous forme d'un polymère, l'amidon, d'où dérive leur autre dénomination de plantes amylacées. L'amidon est hydrolysé en monomères sucrés avant d'être transformé en éthanol. L'étape d'hydrolyse qui a été effectuée pendant longtemps par voie chimique en présence d'acide est, depuis plus de vingt ans, réalisée par voie enzymatique. Le bioéthanol produit à partir de ces matières premières est dit de première génération (**Ballerini, 2006**).

- **Bioéthanol de deuxième génération** : les matières premières pour la production de ce bioéthanol font généralement référence à des sources de biomasse non alimentaires qui est la biomasse lignocellulosique comme les résidus de cultures agricoles tels que les tiges de maïs, la paille de blé et le bois. Il s'agit de la forme la plus abondante de carbone sur la Terre (**Sanchez et Cardona, 2008**). La structure de base de la biomasse lignocellulosique se compose de trois polymères : cellulose, hemicelluloses et lignine (**Demirbas, 2005**). Dans ce complexe, seules les lignines sont souvent très résistantes à la conversion par les systèmes microbiens et de nombreux agents chimiques (**Mohan et al. 2006**). Les étapes de la production de bioéthanol à partir de la biomasse lignocellulosique comportent quatre

opérations unitaires majeures (Balat et Balat, 2008) : prétraitement, hydrolyse, fermentation et séparation du produit par distillation.

- **Bioéthanol de troisième génération** : ce bioéthanol représente le biocarburant produit par la biomasse algale (Goh et Lee, 2010). En effet, certaines algues ont la capacité de produire de grandes quantités d'hydrates de carbone (à la place de lipides) comme *Chlorella*, en particulier les espèces de *C. vulgaris*, avec un taux de glucides de 37-55% de son poids sec (Illman et al., 2000; Brennan et Owende, 2010; Dragone et al., 2011) ; *Chlamydomonas*, *Dunaliella*, *Scenedesmus* et *Tetraselmis* accumulent une large quantité de glucides (> 40% du poids sec) (John et al., 2011). Ces microalgues sont des candidats idéaux pour la production de bioéthanol puisqu'elles se développent plus rapidement et fixent le CO₂ avec un taux plus élevé que les plantes terrestres. En outre, les hydrates de carbone des microalgues sont principalement sous la forme d'amidon et de cellulose avec absence de lignine et sont donc beaucoup plus faciles à convertir en monosaccharides comparé à la biomasse lignocellulosique (Harun et al., 2010; John et al., 2011; Ho et al., 2012).

2. 6. Procédés de production du bioéthanol

Quel que soit le substrat transformé, tout procédé de production de bioéthanol passe par 3 étapes : conversion de la biomasse en sucres, fermentation et récupération de l'éthanol par distillation (Figure V).

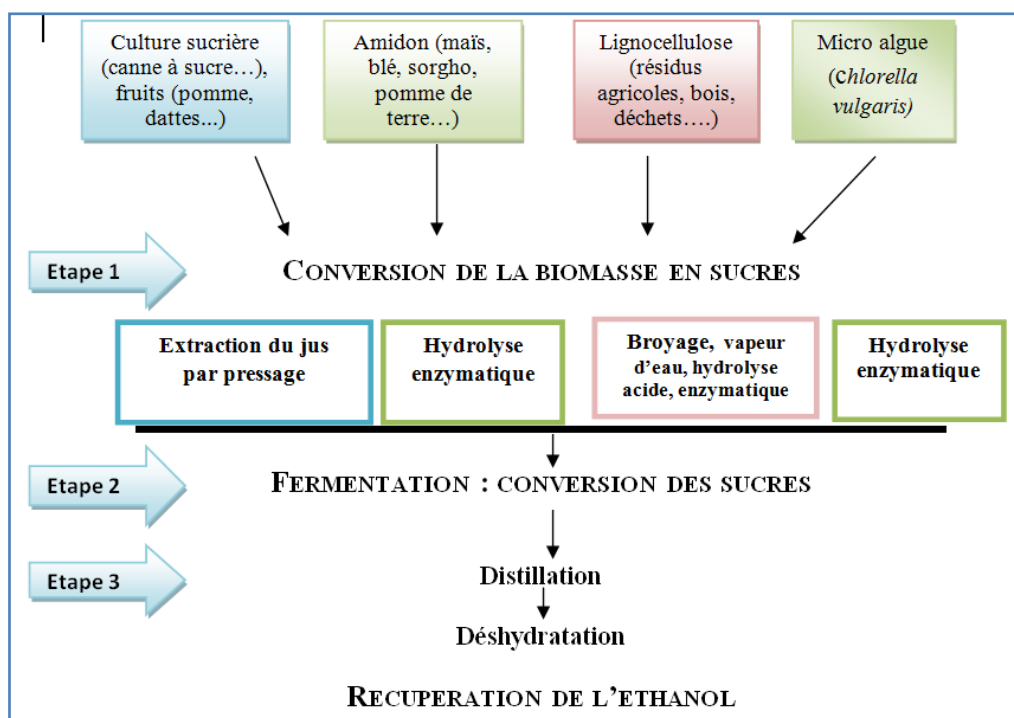
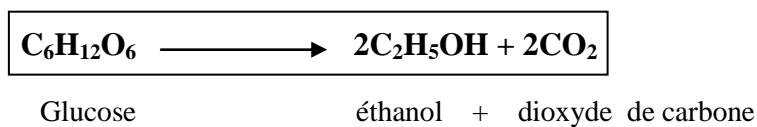


Figure V. Les principales étapes de la production d'éthanol (Cot, 2006).

2. 6. 1. La fermentation alcoolique

La fermentation est une réaction biochimique, à localisation cytoplasmique, permettant la libération de l'énergie contenue dans un substrat organique par l'action d'enzymes microbiennes et qui aboutit à l'oxydation incomplète du substrat. Cette réaction ne fait pas intervenir la chaîne de transporteurs d'électrons (**Riess, 2012**).

Les processus fermentaires de production de boissons alcoolisées exploités par l'homme depuis le VI^e millénaire avant J.-C. étaient encore considérés comme «spontanés». En 1815, l'équation stœchiométrique de transformation du glucose en éthanol est établie par Gay-Lussac :



Le rendement théorique calculé à partir de cette équation, appelé rendement de Gay-Lussac, établit que 100 kg de glucose produisent 51,1 kg d'éthanol. En 1857, Pasteur précise et quantifie les processus fermentaires anaérobies. Il démontre que des coproduits sont toujours associés à la synthèse de l'éthanol et du gaz carbonique. Environ 3% sont des sucres transformés en glycérol, 0,5% en acide succinique, 0,5-0,8% en huiles de fusel (un mélange d'alcools amylique et propylique et de leurs isomères) et 0,8-1% sont consommés pour assurer le développement des microorganismes fermentaires. En tenant compte de ces pertes en sucres, le rendement maximal, appelé rendement de Pasteur, correspond à la production de 48,4 g d'éthanol à partir de 100 g de glucose, soit 94,7% du rendement théorique. La fermentation dure de 40 à 72 h et la température est fixée entre 28 0 et 32.0°C (**Açourene, 2012**).

2. 6. 1. 1. Les modes de fermentation alcoolique

L'éthanol est produit principalement par trois grands types de procédés de fermentation :

- **Fermentation type batch** : ce sont des procédés discontinus. Ces cultures constituent des systèmes clos pour la phase liquide. Il n'y a pas d'addition d'éléments au milieu et la culture se développe jusqu'à ce qu'il y ait carence d'au moins un nutriment essentiel ou jusqu'à ce qu'une modification importante de l'environnement (pH, accumulation de produits toxiques) bloque la croissance. Ces types de cultures n'ont pas des rendements constants, car la composition du milieu évolue au cours de la fermentation. Pour augmenter la productivité, les levures peuvent être récupérées d'un batch sur l'autre (batch recyclé) (**Cot, 2006**).

- **Fermentation type fed-batch** : ces cultures sont alimentées de façon séquentielle ou continue en éléments nutritifs et substrats. La conduite en mode fed-batch permet d'atteindre de plus hautes concentrations en biomasse et produits que le mode batch en évitant l'inhibition par la concentration en substrat, la limitation en éléments nutritifs et en réduisant les effets toxiques des produits par dilution lors des apports (**Roukas, 1994**).

- **Fermentation type continu** : le réacteur en mode continu est un système ouvert, dans lequel le milieu de culture est continuellement additionné, et le milieu de fermentation qui contient les métabolites produits est continuellement extrait, avec un volume réactionnel constant (**Sanchez, 2008**).

2. 6. 1. 2. Les microorganismes utilisés

Une grande variété de microorganismes produit de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant, peu sont réellement compétitifs en termes de rendement en éthanol par rapport au substrat consommé, de capacité fermentaire, de tolérance élevée à l'éthanol et d'adaptation aux conditions de fermentation (**Cot, 2006**).

Actuellement, les espèces utilisées au niveau industriel sont *Saccharomyces cerevisiae* et *Zymomonas mobilis*. Cette dernière est très efficace pour fermenter le glucose, avec une tolérance à l'éthanol de 120 g/l, une productivité 2,5 fois supérieure à celle de la levure et un rendement plus important de 5 à 1% (**Lin et Shuzo, 2006**). Cependant, elle se révèle moins performante avec d'autres types de substrats, alors que *S. cerevisiae* offre un plus large spectre d'utilisation de substrats et présente l'avantage de se développer et d'avoir une activité fermentaire à des pH acides (3-4), condition dans lesquelles sont réprimés les contaminants, alors que la stérilisation est encore nécessaire pour utiliser *Zymomonas mobilis*. Par ailleurs, de par sa taille, *S. cerevisiae* est aisément séparable du milieu de culture par centrifugation ou filtration avant d'être recyclée en fermentation (**Ballerini, 2006**). Pour ces raisons, elle est l'espèce la plus utilisée dans l'industrie et en particulier dans la fabrication d'éthanol. Utilisée depuis plus de 8000 ans pour produire de la bière en Egypte, cette levure est aujourd'hui utilisée dans les agro-industries pour la fabrication de produits panifiés, de boissons alcoolisées, de produits lactés ou encore d'éthanol carburant. La valorisation de la biomasse produite pendant la fermentation est une véritable plus-value, car elle peut être valorisée dans l'alimentation animale mais aussi humaine en tant que complément alimentaire ou probiotiques (**Riess, 2012**).

2. 6. 1. 3. Les principaux produits de la fermentation alcoolique

L'éthanol et le dioxyde de carbone, principaux produits de la fermentation alcoolique, représentent à eux deux entre 90 et 95% du glucose consommé. Le reste du glucose est utilisé lors de la croissance pour la production de biomasse et la production de sous-produits. Les sous-produits majeurs sont le glycérol, le succinate et l'acétate qui utilisent autour de 4 à 5% du substrat carboné restant (**Oura, 1977**). De l'acétaldéhyde, des acides gras (hexanoïque, octanoïque, décanoïque) et des alcools à plus de deux carbones peuvent aussi être produits, mais en plus petite quantité (**Cot, 2006**).

2. 6. 2. Principaux paramètres du procédé de production de bioéthanol

La fermentation alcoolique doit se dérouler dans les meilleures conditions pour obtenir un produit de bonne qualité. Pour cela, il faut prendre en compte certains facteurs qui vont influencer sur la croissance de la levure et le maintien de son activité jusqu'à la fin de la fermentation.

- Les constituants du moût (la teneur en sucres, l'acidité du moût, le taux des éléments nutritifs), la nature de la souche de levure et l'aération.
- le degré d'alcool atteint va dépendre de la teneur en sucre dans le moût de fermentation.
- le moût doit être acide afin d'éviter tout risque de contamination bactérienne.
- le taux des éléments nutritifs minéraux et organiques fourni pour la levure.
- enfin, une faible aération va permettre d'assurer la biosynthèse des stérols des membranes cellulaires nécessaires au maintien de la viabilité cellulaire. Ainsi, le bilan fermentaire et la productivité sont favorisés par l'oxygène.

Les paramètres exposés vont conduire à des variations sur le rendement en alcool, sa cinétique de production et la formation de sous-produits (**Castro, 2007**).

2. 6. 3. La distillation

La récupération de l'éthanol à partir de supports fermentés est réalisée principalement par distillation. La distillation se réfère à la séparation de mélanges de deux ou plusieurs produits chimiques sur la base de différences de leur volatilité (**Walker, 2010**).

2. 6. 4. Rectification

Le flegme issu de la distillation contient encore de nombreux composés volatils autres que l'éthanol. La rectification permet de séparer l'éthanol concentré de ces impuretés. Celles-ci

sont classées en deux catégories selon leur capacité à être distillées respectivement avant et après l'éthanol : les produits de tête et les produits de queue.

La rectification est donc une distillation fractionnée des différents produits présents dans le condensat. La rectification est réalisée en continu par passage au préalable dans l'épuratrice. Cette colonne permet de séparer les produits de tête, le reste de la solution passe alors dans la colonne de rectification proprement dite. Celle-ci va permettre de concentrer l'éthanol et de séparer les produits de queue. Les produits de tête et l'alcool concentré dans la colonne de rectification sont soumis à une épuration complète par passage dans une colonne de repassage. L'alcool épuré est ensuite transféré dans une colonne de concentration permettant l'épuisement en alcool des flegmes (**Didderen et al., 2008**).

2. 6. 5. Déshydratation

Avant tout usage, l'éthanol doit être déshydraté. En effet, les alcools issus de la rectification sont des alcools à 94°GL. Une déshydratation jusqu'à 99.7°GL est nécessaire, elle peut être réalisée via diverses techniques : ajout de réactifs déshydratants tels que la chaux ou la baryte, déshydratation sous vide, déshydratation extractive. Mais la méthode la plus employée est la déshydratation par entraîneur azéotropique. Dans cette méthode, l'alcool est introduit dans la partie supérieure en même temps qu'un produit entraîneur, généralement une solution benzénique. La colonne est chauffée à sa base ; l'eau est alors déplacée en bas de la colonne alors que l'alcool se concentre dans la partie supérieure avant d'être évacué. Le mélange azéotrope éthanol-benzène est ensuite séparé par passage dans une autre colonne (**Didderen et al., 2008**).

3. La levure *Saccharomyces cerevisiae*

3. 1. Généralités

Saccharomyces cerevisiae vient du mot saccharose qui signifie sucre, et myces qui signifie champignon, tandis que *cerevisiae* fait référence à «cervoise», nom donné autrefois à la bière, terme utilisé pour désigner le petit champignon microscopique qui compose les différentes sortes de levures utilisées pour la fermentation. Elle est littéralement connue comme levure du sucre. *Saccharomyces cerevisiae* est une cellule non filamenteuse sphérique, ovoïde ou allongée de taille variable (3-10 µm, 4-14 µm). Certaines cellules sont cylindriques et de grande taille (jusqu'à 20 µm de long ou plus) (**Bacha, 2008**).

Saccharomyces cerevisiae est le microorganisme le plus utilisé par l'homme dans le cadre de productions alimentaires depuis des millénaires. Elle possède un génome relativement réduit

pour une cellule eucaryote : approximativement 60 Mega bases, codant environ 6000 gènes repartis sur 16 chromosomes. Elle a été le premier organisme eucaryote totalement séquencé en 1996 (**Goffeau et al., 1996**). Cette levure est utilisée à très grande échelle aussi bien pour des productions traditionnelles (boissons alcoolisées, pain, levure de boulangerie, bioéthanol), que pour des productions à visées pharmacologiques ou chimiques telles que des vitamines, des enzymes ou des protéines recombinantes. Ses caractéristiques en ont fait l'organisme le plus utilisé dans le cadre de la production de bioéthanol par voie biotechnologique à partir de la biomasse (**Line et Tanaka, 2006**). Sa classification est donnée dans le Tableau V.

Tableau V. Classification de *Saccharomyces cerevisiae* (**Boulton et Quain, 2001**).

Règne	Protistes-Eucaryotes
Classe	Ascomycetes
Sous-classe	Hemiascomycetes
Ordre	Endomycetales
Genre	<i>Saccharomyces</i>
Famille	<i>Saccharomycetaceae</i>
Sous-famille	<i>Saccharomycetoideae</i>
Espèce	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

3. 2. Exigences nutritionnelles de *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae utilise une source carbonée ainsi que d'autres composés en faibles quantités (azote, phosphore, soufre), certains acides aminés, des vitamines et des oligoéléments indispensables à son métabolisme. Parmi les oligoéléments, on distinguera deux classes principales : les macroéléments (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cl^-) nécessaires dans une gamme de concentration de 0,1 à 1 mM, et les microéléments (Co^{2+} , B^{2+} , Cd^{2+} , Cr^+ , Cu^{2+} , I^- , Mo^+ , Ni^{2+}) nécessaires dans une gamme de concentration de 0,1 à 100 μM (**Wümpelmann et al. 1984; Dombek, 1986; Birch et Walker, 2000; Ferreira et al., 2004**).

Parmi les éléments majeurs présents dans un milieu de culture : l'azote, le soufre et le phosphore. L'azote, qui représente environ 10% du poids sec, joue un rôle capital, car il entre dans la constitution de molécules simples (acides aminés, nucléotides, vitamines et coenzymes) essentielles au fonctionnement cellulaire. La seule source d'azote minéral utilisable par *S. cerevisiae* est l'ammonium (**Jones et al., 1981**). Le phosphore se trouve principalement inclus dans les acides nucléiques et les nucléotides di- et tri-phosphates, mais aussi dans de nombreux constituants macromoléculaires des cellules, comme les phospholipides ou ancras GPI. Le phosphore est assimilable par la levure sous forme de

phosphate par un mécanisme de transport actif. Le soufre représente 0,4% du poids sec. Il peut être assimilé sous forme de méthionine ou à de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (**Jones et al., 1981**).

3. 3. Les différents types de métabolismes

La physiologie de la levure est caractérisée par son comportement métabolique. Les conditions environnementales et la nature de la source carbonée orientent le métabolisme de la levure qui peut être soit purement oxydatif, soit oxydo-réductif, soit fermentaire. Le type de comportement varie selon l'environnement (présence d'oxygène), la source de carbone et l'espèce de la levure considérée. Ainsi, bien que toutes les levures soient capables de se développer sur glucose, le type de métabolisme développé en présence de ce substrat est spécifique à l'espèce (**Barnett, 1976**).

Kappeli (1986) a proposé une classification des levures selon leur comportement vis-à-vis de l'oxygène et du glucose. Il distingue les levures purement oxydatives qui ne produisent jamais d'éthanol, les levures sensibles à l'oxygène qui produisent de l'éthanol uniquement lorsqu'elles sont limitées en oxygène et les levures sensibles au glucose (Crabtree positives) qui présentent un métabolisme respiro-fermentaire en présence d'oxygène, lorsque la concentration en glucose résiduel dans le milieu de culture dépasse une valeur seuil. La levure *S. cerevisiae* est une levure Crabtree positive, elle présente un métabolisme oxydatif pour de faibles concentrations de glucose en présence d'oxygène, un métabolisme respiro-fermentaire lorsque la concentration en glucose résiduel augmente et un métabolisme fermentaire en condition anaérobie (**Pagliardini, 2010**). La dégradation des sucres par les levures, en fonction des conditions d'aérobiose, peut donc se faire par 2 voie métaboliques différentes : le métabolisme fermentaire et le métabolisme oxydatif qui commencent par une étape commune: la glycolyse (**Renault, 2010**).

3. 3. 1. La glycolyse

L'assimilation des sucres commence par le transport des molécules à travers la membrane cytoplasmique vers l'intérieur de la cellule. Ils sont ensuite phosphorylés dans la cellule et assimilés par la voie métabolique appelé glycolyse qui conduit, grâce à un complexe enzymatique, à la formation du pyruvate. La glycolyse se déroule en deux parties. Dans la première, la molécule de glucose, après deux phosphorylations et une isomérisation, scindée en deux molécules isomères de trioses phosphates : la glycéraldéhyde-3-phosphate (GAP) et la dihydroxyacétone phosphate qui est rapidement transformée en GAP au cours de la

glycolyse. Autrement dit, la molécule de glucose est transformée en 2 molécules de GAP. Cette étape induit une dépense d'énergie, car 2 molécules d'ATP sont dégradées. Dans la deuxième partie qui conduit à la production de pyruvate, l'énergie est récupérée sous forme d'ATP avec formation de NADH (Figure VI).

Le bilan de la glycolyse se solde donc par une balance positive de 2 ATP et 2 NADH. Le déroulement de cette voie métabolique dépend de la présence du NAD^+ qui est le cofacteur de la glyceraldéhyde3-phosphate déshydrogénase. Ainsi le coenzyme réduit (NADH), formé au cours de la réaction, doit être continuellement réoxydé pour assurer le bon fonctionnement de la glycolyse. En anaérobiose, cette réoxydation s'effectue au cours de la réduction du pyruvate ou de l'un de ses multiples produits de transformation. En aérobiose, la réoxydation du coenzyme réduit s'opère par un transfert d'électrons sur l'oxygène, catalysé par des complexes enzymatiques dans les mitochondries (Renault, 2010).

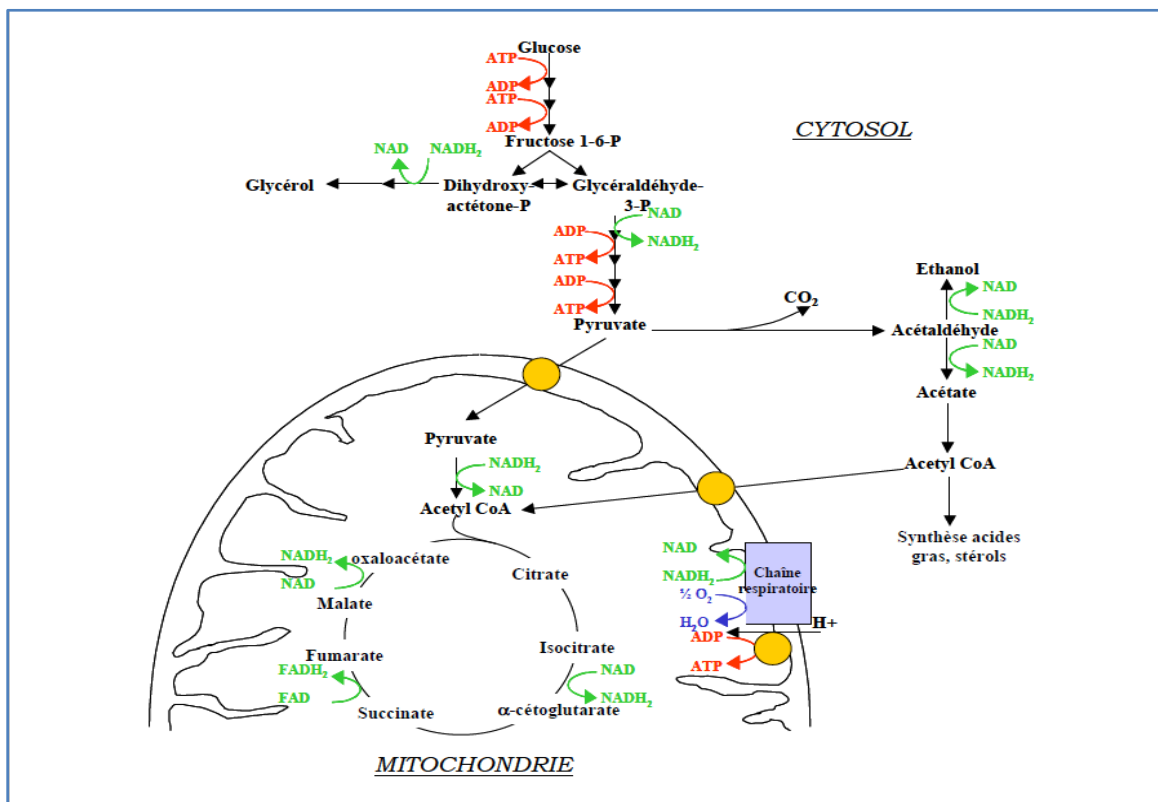


Figure VI. Schéma récapitulatif de la voie de production d'éthanol et des voies métaboliques pouvant conduire à la production de sous-produits (Cot, 2006).

3. 3. 2. Le métabolisme oxydatif

En aérobiose, le pyruvate issu de la glycolyse est complètement oxydé en CO_2 et H_2O . Cette oxydation qui se déroule dans la matrice des mitochondries, est obtenue en trois étapes : décarboxylation oxydative du pyruvate par le pyruvate déshydrogénase en présence du

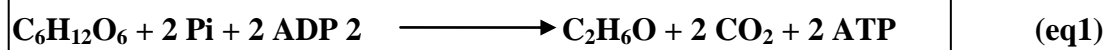
coenzyme A, cycle de Krebs et chaîne respiratoire. Au cours des deux premières étapes, l'acide pyruvique (molécule à trois atomes de carbone) donne naissance à trois molécules de CO₂, cinq molécules de coenzymes réduits (4 NADH et 1 FADH₂) et une molécule de GTP riche en énergie. L'oxygène intervient au niveau de la chaîne respiratoire où il accepte les électrons apportés par les coenzymes réduits. Cette troisième étape permet la libération d'énergie par le mécanisme des oxydations phosphorylantes (**Renault, 2010**).

3. 3. 3. Le métabolisme fermentaire

Il y a deux types de métabolisme fermentaire :

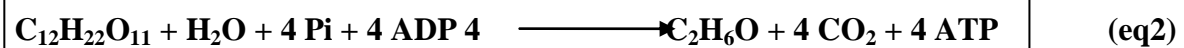
- **La fermentation anaérobie** : en anaérobiose, *S. cerevisiae* est privée de son accepteur final d'électron qui est l'oxygène. Les coenzymes d'oxydoréduction, comme le NADH⁺H⁺, ne peuvent donc plus être réoxydés. La cellule doit donc utiliser un autre accepteur final d'électron qu'elle doit fabriquer à partir de son substrat. Pour *S. cerevisiae*, il s'agit principalement de l'acétaldéhyde. La réduction de l'acétaldéhyde en éthanol permet de maintenir l'équilibre rédox en réoxydant le NADH⁺H⁺ produit au cours de la glycolyse (**Riess, 2012**).

L'équation bilan de la réaction de fermentation du glucose par *Saccharomyces cerevisiae* est :



Glucose + Phosphate inorganique + Adénosine diphosphate \longrightarrow Ethanol + Dioxyde de carbone + énergie

Le rendement théorique limite de conversion du glucose en éthanol est donc de 0,511 g d'éthanol par gramme de glucose. Pour le saccharose, ce rendement est de 0,538 comme le montre l'équation 2 :



Saccharose + Eau + Phosphate inorganique + Adénosine diphosphate \longrightarrow Ethanol + Dioxyde de carbone + énergie

- **L'effet Crabtree**

L'effet Crabtree décrit les phénomènes par lesquels un microorganisme produit de l'éthanol en aérobiose lorsque le milieu présente une forte concentration en substrat (**Riess, 2012**). Lorsque la concentration en glucose est élevée, comme dans le mout de raisin, *S. cerevisiae*

ne métabolise les sucres que par voie fermentaire. Même en présence d'oxygène, la respiration est alors impossible. Ce phénomène, découvert par Crabtree en 1929, est appelé répression catabolique par le glucose ou contre-effet Pasteur. Le passage du métabolisme respiratoire au métabolisme fermentaire ne serait pas dû à une répression des fonctions mitochondriales, mais à la capacité respiratoire limitée des cellules, ce qui provoque une augmentation de la concentration en pyruvate et donc une dégradation ultérieure par la voie de la pyruvate décarboxylase (fermentaire) (Petrik et al., 1983). En d'autres termes, si le flux de glucose assimilé par la glycolyse ne sature pas la capacité des voies oxydatives à incorporer le pyruvate, le métabolisme de la levure est respiratoire, et si la capacité respiratoire est saturée, le glucose est transformé en éthanol par un métabolisme respiro-fermentaire. L'effet Crabtree se manifeste chez *S. cerevisiae* à partir de 1g/l de glucose (Fiechter et Saghezzi, 1992).

4. Matériel et méthodes

Le travail à été réalisé au centre de recherche de développement des énergies renouvelables CDER.

4. 1. Matériel biologique

• Variétés de dattes utilisées

Pour la réalisation de cette étude, quatre variétés de dattes ont été prises en compte : Degla Beïda, Timjouhart, Takerbucht et Mech Degla (Figure VII). Le choix de ces variétés a été orienté par leur faible valeur marchande, leur disponibilité et leur abondance.

La totalité du travail a été réalisée sur une quantité de 3 kg pour chaque variété. Les variétés Degla Beïda et Mech Degla ont été cédées par un fournisseur de dattes de la wilaya de Blida en mars 2013. Ces variétés ont été récoltées au stade de maturité Tamr à Sidi Okba (Biskra). En ce qui concerne les variétés Timjouhart et Takerbucht, la récolte a été réalisée en juillet 2013 au stade de maturité Tamr à Adrar.

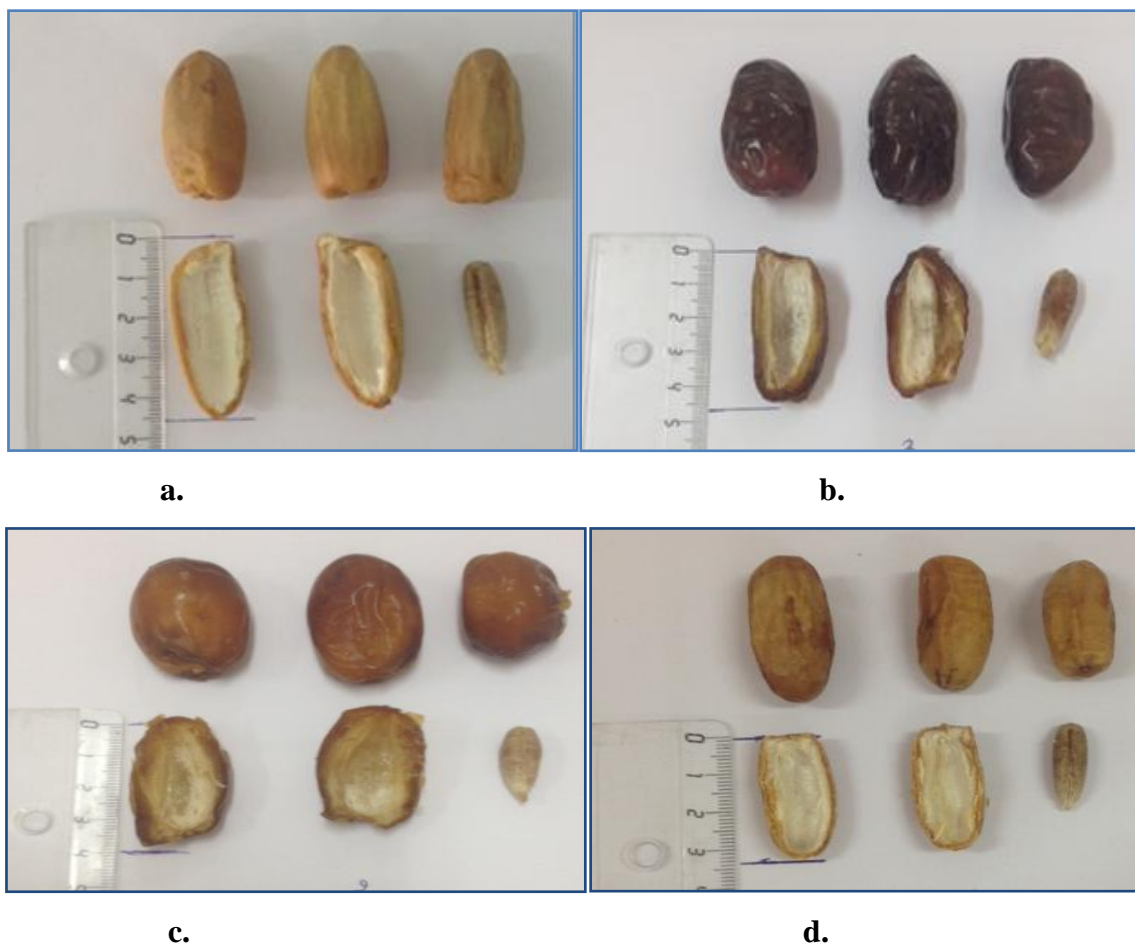


Figure VII. (a) Degla Beïda, (b) Timjouhart, (c) Takerbucht et (d) Mech Degla les quatre variétés de dattes considérées dans cette étude.

Afin de sauvegarder la qualité initiale des fruits, les dattes infestées ont été écartées par un triage. Le reste a été conditionné dans des sacs en plastique et entreposé dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'à sa transformation et analyse. Ce mode de conservation permet de ralentir la respiration ainsi que les changements chimiques et physiques.

● **Microorganisme utilisé pour la fermentation**

Le microorganisme utilisé est la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*, isolée à partir des dattes de la variété Mech Degla au niveau du Centre de développement des énergies renouvelables (CDER). La souche a été conservée sur gélose inclinée à 4°C, pour permettre aux levures de garder leur vitalité. Des repiquages sont effectués chaque mois.

4.2. Méthodes d'analyses

Pour chaque variété de dattes, ont été réalisées :

- une caractérisation morphologique qui a concerné la datte entière,
- une caractérisation biochimique qui a concerné la pulpe,
- la production du bioéthanol obtenue à partir des jus des quatre variétés par fermentation alcoolique.

4. 2. 1. Caractérisation morphologique des dattes

Pour chaque variété, 10 dattes sont prises au hasard des sacs (**Boukhiar, 2009**). Les paramètres suivants ont été étudiés (**Açourene et Tama, 1997**):

- La couleur et la forme ont été appréciées visuellement,
- la consistance (sèche ou molle ou demi-molle) a été déterminée par une appréciation tactile,
- les dimensions (longueur et largeur) sont déterminées à l'aide d'un pied à coulisse.

4. 2. 2. Caractérisation physicochimique de la pulpe

4. 2. 2. 1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est déterminée par dessiccation. Une quantité de 2 g de pulpe est déposée dans une capsule en porcelaine (préalablement tarée) et séchée dans une étuve à une température de 105°C. Après trois heures de temps, les capsules sont retirées de l'étuve et placées dans un dessiccateur. Après refroidissement, la pesée est réalisée. L'opération est répétée jusqu'à obtention d'un poids constant. Trois 3 essais sont réalisés pour chaque variété (**Açourene et Tama, 1997**).

La teneur en eau est calculée à partir de la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

H est la teneur en eau.

M1 est la masse de la capsule avec matière fraîche avant étuvage (g).

M2 est la masse de la capsule avec matière fraîche après étuvage (g).

P est la masse de la prise d'essai (g).

Le taux de matière sèche est déduit par la formule suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - H (\%)$$

4. 2. 2. 2. Détermination de la teneur en cendres

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 500°C jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendre est déterminée par la pesée du résidu.

Mode opératoire : une quantité de 1 g de pulpe de dattes est déposée dans une capsule en porcelaine (préalablement tarée) et placée dans un four à moufle à la température de 500°C jusqu'à obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant. Puis la capsule est retirée et placée dans un dessiccateur. Après refroidissement, la pesée est réalisée (NA/717/1991).

Le pourcentage de la matière organique est donné par la formule suivante :

$$MO(\%) = \frac{(M1 - M2)}{P} \times 100$$

MO est la teneur en matière organique (g)

M1 est la masse initiale avant incinération (matière sèche + capsule) (g)

M2 est la masse finale après incinération (cendres + capsule) (g)

P est la masse de prise d'essai. (g)

La teneur en cendres est égale à :

$$\% \text{ cendres} = 100 \% - MO \%$$

4. 2. 2. 3. Détermination du pH

La détermination du pH est essentielle pour le contrôle d'une fermentation microbienne. Sa variation renseigne sur l'activité métabolique de la microflore.

Mode opératoire : après élimination des noyaux et des loges carpellaires, les dattes sont coupées en petits morceaux puis 5 g de ces derniers sont déposées dans un bécher complété de deux fois son volume (10ml) en eau distillée. Le tout est chauffé dans un bain marie pendant 30 minutes avec agitation à l'aide d'une baguette en verre. Le mélange ainsi obtenu est broyé dans un mortier en porcelaine (NF V05-108, 1970). Le pH est alors déterminé par une lecture directe sur un pH-mètre préalablement étalonné (type WTW).

4. 2. 2. 4. Détermination de l'acidité titrable

Le titrage de l'acidité est réalisé par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) en présence de phénolphthaléine comme indicateur.

Mode opératoire : à partir des petits morceaux obtenus préalablement, 25 g de pulpe ont été placés dans un bécher avec 50 ml d'eau distillée. Il est nécessaire de mélanger jusqu'à obtention d'un liquide homogène. Le bécher est par la suite mis au bain-marie pendant 30 min. Après refroidissement, le contenu est quantitativement transvasé dans une fiole jaugée de 250 ml et complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. Une fois bien mélangé, le tout est filtré avec de la gaze. 25 ml du filtrat sont versés dans un bécher aux quels sont ajoutées quelques gouttes de phénolphthaléine tout en agitant. Le titrage est réalisé par une solution d'hydroxyde de sodium 0.1 N jusqu'à obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes (NF V 05-101,1974).

L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide acétique pour 100 g de pulpe :

$$A(\%) = \frac{(250 \times V1 \times 100)}{(m \times V \times 10)} \times 0.06$$

A(%) est la teneur en acidité titrable (en pourcentage)

m est la masse de la prise d'essai (g)

V est le volume du filtrat pris pour le titrage (ml)

V1 est le volume de la solution d'hydroxyde de sodium à 0.1 N (ml)

0.06 est le facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide acétique.

4. 2. 2. 5. Détermination du taux de solides solubles (TSS ou °Brix)

Le taux de solides solubles TSS, exprimé en degré Brix, est déterminé par la mesure, à la température de 20°C, de l'indice de réfraction de l'échantillon puis la conversion de cet indice en résidus secs solubles. Fondamentalement, le °Brix (%) est calibré en fonction du nombre de grammes de sucre contenus dans une solution de 100 g.

Mode opératoire : dans un bécher de 250 ml préalablement taré, 10 g de morceaux de pulpe aux quels est ajoutée une quantité d'eau distillée égale à cinq fois la masse du produit sont portés à chauffer au bain marie pendant 30 minutes en remuant de temps en temps avec une baguette en verre. Après refroidissement, de l'eau distillée est ajoutée jusqu'à ce que la totalité du contenu du bécher atteigne approximativement de 200 ml. Après un temps de 20 minutes,

les échantillons sont filtrés et le taux de résidus secs solubles est déterminé par lecture directe par le réfractomètre (type Abbé) (NF V 05-109, 1970).

Le taux de résidus secs solubles est donné par la formule suivante :

$$^{\circ} \text{Brix (\%)} = M \times \frac{M1}{E}$$

E est la masse du produit utilisé pour la détermination (g)

M1 est la masse de résidus secs solubles pour 100 g de produit analysé (g)

M est la masse totale de la solution pesée (contenue dans le bécher) (g).

4. 2. 2. 6. Dosage des matières grasses

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des fruits et des végétaux par des solvants organiques apolaires au moyen d'un Soxhlet.

Mode opératoire : faire sécher un ballon de 500 ml (du Soxhlet) dans l'étuve à 100°C pendant 1 heure et puis le peser afin de déterminer son poids vide (précision de 0.1 mg). Par la suite, 20 g de pulpe sont mis dans une cartouche en papier filtre et le tout est placé dans le Soxhlet. Puis 200 ml d'éther de pétrole (solvant) sont versés dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur. Faire chauffer le ballon sur le chauffe-ballon pendant 4 heures jusqu'à épuisement de la matière grasse. Après élimination du solvant par distillation, le ballon est séché à une température de 70-80°C puis pesé après refroidissement. L'opération de séchage est répétée jusqu'à obtention d'un poids constant (NF EN ISO 734-1, 2000).

La teneur en matière grasse est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{MG(\%)} = \frac{(P2-P1)}{P3} \times 100$$

P₁ est le poids du ballon vide (g)

P₂ est le poids du ballon avec l'huile extraite (g)

P₃ est le poids de la prise d'essai (g).

4. 2. 2. 7. Dosage des protéines totales

Le dosage des protéines est réalisé par la méthode de Kjeldahl, qui est particulièrement préconisée pour du matériel végétal. Cette méthode est basée sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction puis distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

Mode opératoire : avant de procéder au dosage de l'azote total, l'échantillon doit subir une minéralisation. Pour cela, dans un matras de minéralisation, nous avons introduit 1 g de pulpe auquel ont été ajoutés une pincée des catalyseurs (3 g de sulfate de cuivre et de potassium) et 20 ml d'acide sulfurique pur en appliquant un chauffage progressif: d'abord une attaque à froid pendant 15 minutes jusqu'à apparition de vapeurs blanches d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique (attaque à chaud) pendant 4 à 5 heures. Après décoloration complète de la solution, celle-ci est refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée. La distillation est réalisée dans un distillateur semi-automatique où on ajoute 20 ml de soude à 35% dans le matras. Le distillat est recueilli dans 20 ml d'acide borique à 4%. L'ammoniac recueilli est titré par l'acide sulfurique à 0,05N en présence du mélange de Tashiro (rouge de méthyle à 0,02% et bleu de méthylène à 0,1%) comme indicateur.

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante

$$N\% = V / V' \times (N - N') \times 0.05 \times 1.4 / P$$

N% est la teneur en azote

V est le volume de la solution minéralisée (ml)

V' est le volume de la solution de soude ajoutée (ml)

N est la quantité d'acide sulfurique lue après titrage (ml) avec l'acide sulfurique de normalité 0.05N

N' est le volume d'acide sulfurique dépensé dans le titrage du témoin (ml)

P est le poids de la prise d'essai (g)

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total N (%) par le coefficient 6.25 (facteur de conversion nécessaire pour convertir la concentration en azote mesurée à une concentration de protéine).

4. 3. Production du jus de dattes

4. 3. 1. Extraction du jus de dattes

La préparation des différents moûts de dattes, obtenus sur une quantité d'un kilogramme de dattes pour chaque variété, est réalisée selon les opérations décrites par **Açourene et Ammouche (2012)** :

- **Le lavage** qui a pour but de débarrasser les dattes des grains de sable et de la poussière.
- **L'égouttage** afin d'éliminer l'eau supplémentaire du lavage pour ne pas modifier la consistance de la datte.
- **Le séchage** à l'air.
- **Le dénoyautage** des dattes est indispensable, car le noyau est dur et ne peut pas contribuer à l'enrichissement du milieu de culture bien qu'il soit riche en protéines et en glucides.

Les dattes ainsi traitées sont ensuite diluées à raison d'un kilogramme de pulpe pour deux litres et demi d'eau distillée chaude à 70°C puis broyées. Cette macération dans l'eau chaude permet une meilleure extraction des sucres. Ensuite, le tout est porté au bain marie à 85°C durant 45 minutes avec agitation. Une fois le jus de dattes extrait, il est filtré à travers de la gaze et clarifié par centrifugation à 5000 tr/min pendant 15 minutes.

Par la suite, la détermination du taux des sucres réducteurs, des sucres totaux et du saccharose est effectuée sur les surnageants obtenus du jus (extrait) de chacune des quatre variétés de dattes.

4. 3. 2. Dosage des sucres

- **Dosage des sucres totaux par la méthode du phénol (Dubois, 1956)**

La méthode de **Dubois (1956)** permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les sucres donnent une couleur jaune crème, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des sucres totaux.

Mode opératoire : la technique consiste à préparer d'abord une gamme étalon à partir d'une solution de glucose à 0,01%. La courbe d'étalonnage obtenue lors du dosage **figure** (Gamme étalon pour le dosage des sucres totaux est présentée en annexe I, **Tableau A.I**).

$DO = \epsilon \times C \times \text{facteur de dilution}$

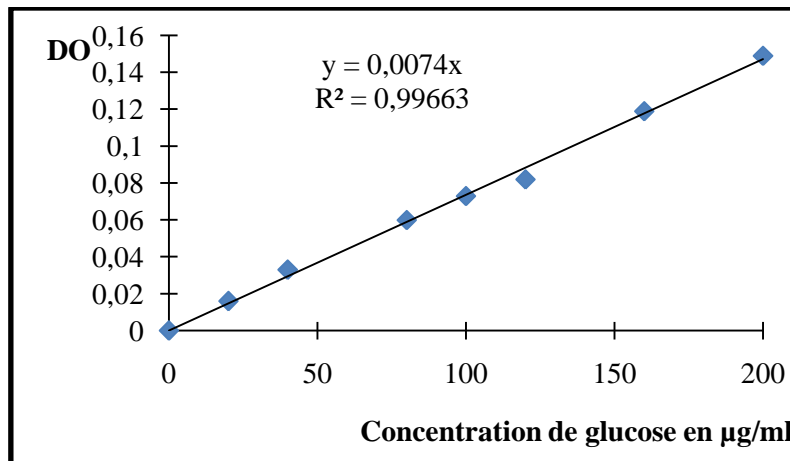


Figure VIII. Courbe étalon du glucose à 0,01 % (sucre totaux par la méthode Dubois).

En second lieu, introduire dans des tubes à essai 2 ml du surnageant de chaque variété après dilution (1000 fois). Puis on ajoute à la gamme préparée et aux tubes d'échantillon 1 ml d'une solution de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique concentré. La solution est mélangée et au bout 20 minutes (temps de réaction) les tubes sont refroidis pour arrêter la réaction. L'absorbance est lue au spectrophotomètre UV (type Thermo) visible à 490 nm. La teneur des sucres est exprimée en µg/ml.

• **Détermination de la teneur en sucres réducteurs par la méthode de Miller(1956)**

La méthode de Miller (1959) se base sur le fait que les sucres réduisent l'acide 2,3-dinitrosalicylique (DNS) en acide 3-amino-5-nitrosalicylique, à chaud. Le produit de la réaction en milieu basique développe une coloration jaune orangé avec un pic d'absorption à 540nm.

Mode opératoire : la technique consiste à préparer d'abord une gamme étalon à partir d'une solution de glucose de 2 g/l la courbe d'étalonnage obtenue lors du dosage figure (Gamme étalon pour le dosage des sucres réducteurs est présentée en Annexe I, **Tableau A.II**).

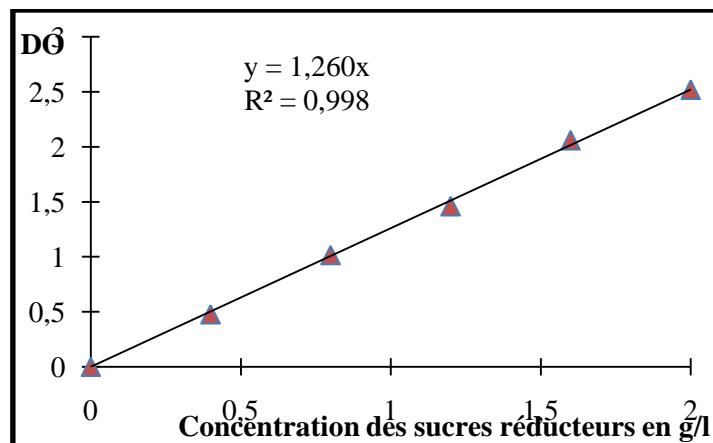


Figure IX. Courbe étalon du glucose (sucres réducteurs par la méthode de DNS).

Par la suite, les surnageants subissent une défécation avant de passer au dosage des sucres.

– **La défécation** : seuls les sucres réducteurs sont mesurés par cette méthode. Une défécation préalable au dosage est nécessaire sur les échantillons afin d'éliminer les protéines (substances réductrices) pouvant interférer avec le dosage au DNS. Ce traitement consiste à mélanger 4ml d'échantillon avec 0.5ml de sulfate de zinc ($ZnSO_4$ à 5%) et 0.5 ml d'hydroxyde de baryum ($Ba(OH)_2$ à 0.3N). Après un temps de contact de 10 minutes, le précipité formé est éliminé par centrifugation.

– **Le dosage** : il est réalisé en mélangeant dans un tube à essai 4 ml de réactif de DNS avec 1 ml d'échantillon à analyser (précédemment déféqué) et dilué 200 fois de façon à se retrouver dans la gamme d'étalon 0-2g/l équivalent glucose (Tableau 7). Après homogénéisation du mélange, le tout est porté à une température de $100^\circ C$ pendant 5 minutes. A la sortie du bain-marie, la préparation est mise à refroidir dans un bain de glace pour arrêter la réaction. La lecture de l'absorbance à 540 nm permet de déterminer la teneur en sucres réducteurs des différents échantillons (exprimée en g/l).

• Détermination de la teneur en saccharose

La teneur en saccharose est obtenue par la différence entre la teneur en sucres totaux et les sucres réducteurs présents dans l'échantillon.

$$\% \text{ Saccharose} = (\% \text{ sucres totaux} - \% \text{ sucres réducteurs}) \times 0.95$$

4. 4. Production de bioéthanol

La production d'éthanol passe par trois étapes: le traitement du substrat (les dattes) pour l'extraction des sucres, la fermentation alcoolique et la distillation (Figure VIII).

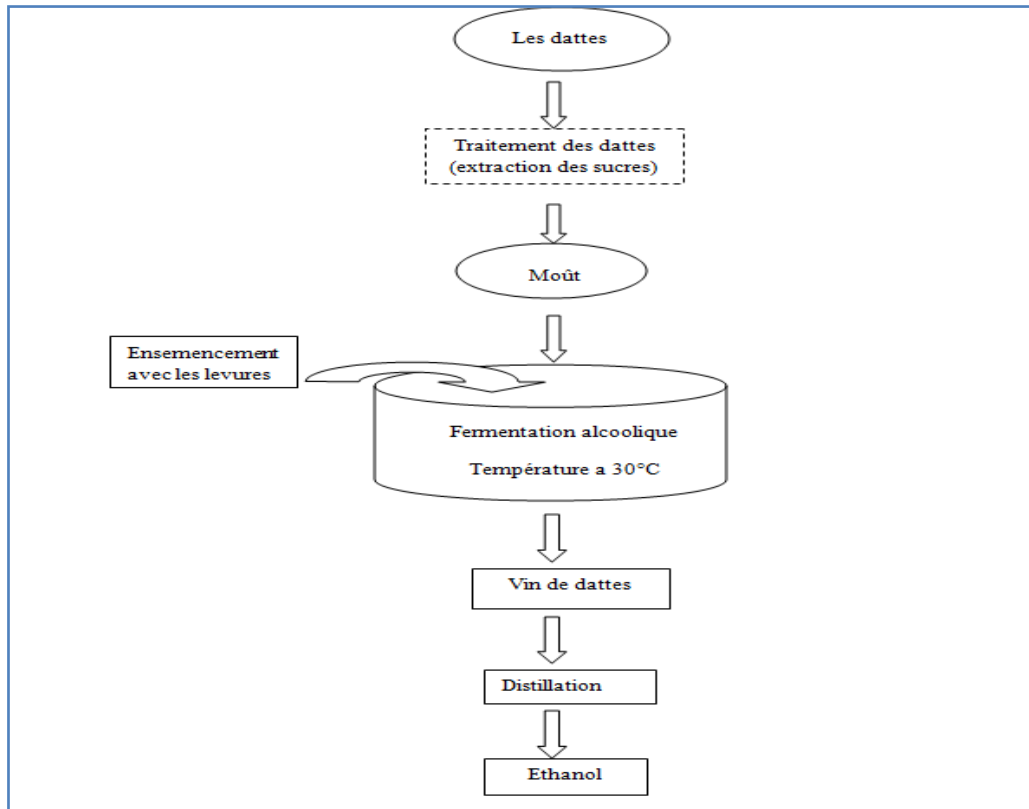


Figure X. Diagramme de production de l'éthanol.

4. 4. 1. Déroulement de la fermentation

Les fermentations alcooliques présentées dans cette étude ont été réalisées en mode fed-batch sur les moûts des quatre variétés de dattes et se déroulent en anaérobie durant 72h.

• Préparation de l'inoculum

La souche de *saccharomyces cerevisiae* entretenue sur milieu gélosé incliné subit une réactivation sur milieu de préfermentation Carlsberg (la composition du milieu est présentée en Annexes II). L'objectif de la préfermentation est de développer une forte population.

30 ml du milieu de préfermentation stérile que nous avons ensemencés à partir de la souche conservée dans un tube gélosé incliné sont mis dans un erlenmeyer de 250 ml, puis homogénéisés et incubés à 30°C pendant 18 h.

- **Préparation du milieu de culture**

A partir du surnageant obtenu, un volume de 750 ml a été prélevé et enrichi en phosphate d'ammonium à raison de 1.8 g/l (le phosphate d'ammonium est indispensable à la biosynthèse des protéines des levures nécessaires à la multiplication cellulaire ainsi qu'à la biosynthèse des protéines pariétales indispensables au transfert des sucres à l'intérieur de la cellule). Le pH est ajusté entre 4.2 et 4.5 par une solution d'acide sulfurique 1 N. Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures. Les moûts ainsi obtenus constituent les milieux de culture.

- **Le matériel de fermentation**

Les moûts préparés sont transférés dans un fermenteur d'un litre avec un volume utile de 750 ml (le dispositif de fermentation est présenté en Annexe III, Figure A-I) (autoclavé pendant 20 minutes à 120°C sous une pression relative de 2 bars) et inoculé avec des levains (l'inoculum). Une agitation magnétique est assurée avec un barreau aimanté de 1,5 cm. La température de fermentation est fixée à 30°C et la régulation de la température à 30°C se fait à l'aide d'un bain marie relié au fermenteur. Les fermentations se déroulent en anaérobie non stricte durant 72h.

4. 4. 2. Les méthodes analytiques

Pour suivre l'évolution de la fermentation (cinétique de la fermentation) des quatre moûts obtenus, des prélèvements de 100 ml de chaque moût sont clarifiés chaque 24 heures par centrifugation à 35000 tr/min pendant 15 minutes, et ce, en vue de déterminer le taux des sucres résiduels, le degré de °Brix, le degré d'alcool et suivre l'évolution du pH au cours de la fermentation

- **Mesure du pH** : ce paramètre a été réalisé sur un volume de 2 ml prélevé des quatre milieux de fermentation (le procédé est le même que celui décrit précédemment).

- **Analyse des sucres résiduels (méthode Dubois)** : l'analyse a été réalisée sur 2 ml du surnageant (100 ml d'une prise d'essai des quatre moûts) dilué 1000 fois (le procédé utilisé est le même que celui décrit précédemment).

- **Degré de °Brix** : 100 ml des surnageants des quatre moûts ont été mis dans le réfractomètre (lecture directe de la valeur du °Brix).

- **Analyse de l'éthanol** : la mesure de l'alcool par ébulliométrie se base sur la différence de température d'ébullition entre l'eau et l'alcool. Le vin pouvant être considéré comme un

mélange hydroalcoolique, plus sa teneur en éthanol est importante, plus sa température d'ébullition est faible. L'appareil de mesure, l'ébulliomètre (l'appareil est présenté en Annexe III, Figure A-II) est constitué d'une chaudière chauffée par une lampe à alcool, surmontée d'un réfrigérant et d'un thermomètre.

La mesure consiste à déterminer la température d'ébullition de l'eau de façon à étalonner l'appareil et à mesurer ensuite celle du moût. La correspondance entre température d'ébullition du vin et son titre alcoométrique volumique (degré d'alcool) est donnée par une table disque ébulliométrique (le disque est présenté en Annexe III, Figure A-III) (**Kassim, 2012**). Après étalonnage de l'appareil, 50 ml du surnageant de la prise d'essai pour chaque moût sont mis dans l'ébulliomètre, puis la température d'ébullition ainsi que le degré d'alcool sont déterminés à partir de la table disque ébulliométrique.

4.4. 3. La distillation

A la fin de la fermentation, les vins de dattes obtenus, avec un volume de 450 ml, sont soumis à une distillation.

Pour cela, les vins de dattes sont chauffés à 78°C au chauffe-ballon (le dispositif de distillation est présenté en Annexe III, Figure A- IV). Après chauffage, les vapeurs sont éjectées sous pression de la base de la colonne de distillation et progressent vers le haut en traversant successivement tous les plateaux de la colonne de distillation puis elles sont refroidies dans le condenseur (réfrigérant) et passent à l'état liquide.

4. 4. 4. Dosage de l'alcool (le bioéthanol)

L'appareil utilisé pour identifier et quantifier les composés des quatre distillats obtenu est le GCMS (Chromatographe HP Agilent Technologies 6800 couplé à un spectromètre de masse HP Agilent Technologies MSD 5973).

Principe : un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse est un système qui sépare les composés en fonction de leur temps de rétention dans une colonne chromatographique, puis les analyses sont représentées en identifiant les ions produits après leur fragmentation. Chaque molécule possède une fragmentation qui lui est propre, en qualité d'ions produits et en qualité d'intensité relative de ces ions. Cette fragmentation est représentée par un spectre de masse qui constitue «l'empreinte» d'une molécule. Cette

technique est réservée à l'analyse de molécules aisément vaporisables et thermiquement stables.

Mode opératoire : un microlitre de chaque distillat obtenu est injecté dans l'injecteur du GCMS selon les paramètres d'utilisation (les paramètres d'utilisation du GCMS sont présentés en Annexe III, Tableau A- III et Tableau A- IV). Les analytes séparés par GC traversent une ligne de transfert chauffée à 270°C avant de parvenir au spectromètre de masse. Le filament du spectromètre de masse émet des électrons possédant une énergie de 70 eV qui arrivent au centre de la trappe ionique où l'ionisation des composés est réalisée en mode impact électronique (EI). Les ions ainsi formés sont détectés au moyen d'un détecteur, puis un micro-ordinateur assure le traitement des données et fournit un spectre de masse. Les spectres des chromatogrammes obtenus sont identifiés par comparaison aux spectres identiques de la base de données du GCMS.

5. Résultats et discussion

Les résultats obtenus dans cette étude sont présentés sous forme de tableaux et de graphes. Une comparaison avec des résultats obtenus est établie, lorsque le travail concerne les mêmes variétés. Enfin, une discussion est esquissée.

5. 1. Caractéristiques morphologiques et physicochimiques

5. 1. 1. Caractéristiques morphologiques

■ Aspect extérieur

Le Tableau VI résume les caractéristiques morphologiques déterminées visuellement sur les quatre variétés de dattes.

Tableau VI. Caractéristiques morphologiques des quatre variétés de dattes.

Caractéristiques	Degla Beïda	Mech Degla	Timjouhart	Takerbucht
Couleur	Jaune pale à blanc	Beige clair teinté d'un marron	Rouge	Ambrée
Consistance	Sèche	Sèche	Demi-molle	Demi-molle
Forme	Ovoïde	Ovoïde	Ovoïde	Ronde

L'aspect extérieur diffère morphologiquement d'une variété de datte à l'autre. Les variétés dont la couleur est plus claire (Degla Beïda et Mech Degla) sont de consistance sèche, alors que plus la couleur s'assombrit, plus la consistance semble se ramollir, notamment pour

devenir demi-molle dans les deux autres variétés (Timjouhart et Takerbucht). Par ailleurs, bien que la forme des variétés Degla Beïda et de Mech Degla soit ovoïde, les dattes de Degla Beïda sont plus allongées et plus volumineuses que celles de Mech Degla.

■ Dimensions

Pour ce qui est des mesures prises, la Figure XI montre que les dattes ayant les longueurs les plus importantes sont Degla Beïda et Timjouhart. Les longueurs et largeur moyennes varient par ailleurs dans un même ordre de grandeur, et se situent respectivement entre 2-3cm et 1.3-1.6 cm.

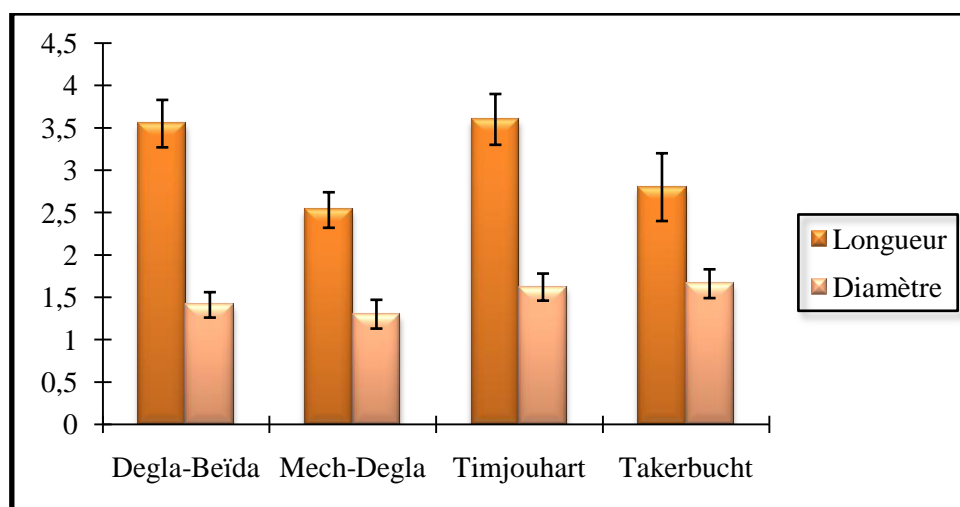


Figure XI. Dimension des dattes des quatre variétés étudiées.

■ Poids

Tableau VII. Poids moyen frais de la pulpe et du noyau pour chaque variété de dattes.

Poids (g)	Degla Beïda	Mech Degla	Timjouhart	Takerbucht
Poids de la datte	6.32±1.32	4.23±0.44	9.48±2.11	9.57±2.30
Poids de la pulpe	5.02±1.04	3.19±0.42	8.27±2.06	8.91±1.90
Poids de noyau	1.23±0.32	0.99±0.12	1.14±0.13	1.1±0.26

– Le poids moyen des dattes des quatre variétés varie entre 4,23±0.44 et 9.57±2.30 g (Tableau VII). Les poids de la datte entière et de la pulpe les plus élevés sont relevés pour la variété Takerbucht, soit 9.57 g et 8.91 g, et les plus faibles sont retrouvés chez Mech Degla, soit 4.23 g et 3.19 g.

Ces résultats sont compatibles avec ceux donnés par **Lachab (2010)** pour la variété Mech Degla qui enregistre des poids de la datte entière et de la pulpe respectivement de 4.74 g et 3.81 g, ainsi qu'avec ceux enregistrés par **Açourene et Tama (1997)**, soit 4.37 g et 3.5 g. En revanche, nos résultats sont inférieurs à ceux de **Amrane (2007)**, soit 6.16 g et 5.10 g et de **Benahmed (2007)**, soit 5.67 g et 4.50 g.

Pour la variété Degla Beïda, les poids de la datte entière et de la pulpe (6.32 et 5.02 g) sont en accord avec ceux de **Benahmed (2007)** et **Amellal (2008)** (6.48 g et 5.09 g et 6.06 et 5.35 g respectivement) et légèrement inférieur aux résultats donnés par **Açourene et Tama (1997)** (7.13 et 5.76 g).

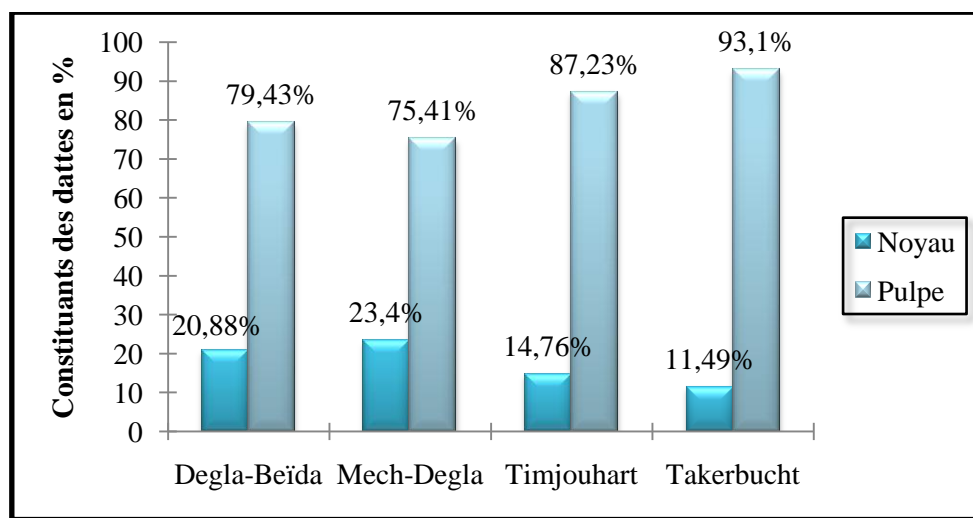


Figure XII. Pourcentage de la pulpe et du noyau dans les dattes entières.

– Les résultats des pourcentages de la pulpe des variétés Degla Beïda et Mech Degla (Figure XII) sont légèrement faibles par rapport aux résultats obtenus par **Açourene et Tama (1997)** qui s'élèvent à 80.29% pour Degla Beïda et 82.45% pour la variété Mech Degla.

Pour les deux autres variétés, Timjouhart et Takerbucht, nos résultats sont équivalents à ceux de **Bousdira (2007)**, soit 88 % et 93% respectivement.

Par ailleurs, les pourcentages des noyaux sont faibles. Notons que la proportion du noyau constitue une caractéristique variétale: c'est une donnée d'appréciation des qualités commerciales et un critère de sélection pour les prospecteurs (**Gilles, 2000**).

5. 1. 2. Caractères physicochimiques

Tout processus de fermentation est lié à la qualité du milieu de culture utilisé. Par conséquent, la détermination de la composition biochimique des jus de dattes est indispensable pour réussir la fermentation alcoolique.

■ Teneur en eau

– La Figure XIII montre que la teneur en eau est inversement proportionnelle au taux de matière sèche. Par ailleurs, la teneur en eau la plus élevée est observée chez la variété Takerbucht suivie de Timjohart, qui présentent une consistance demi-molle, puis viennent Mech Degla et enfin Degla Beïda.

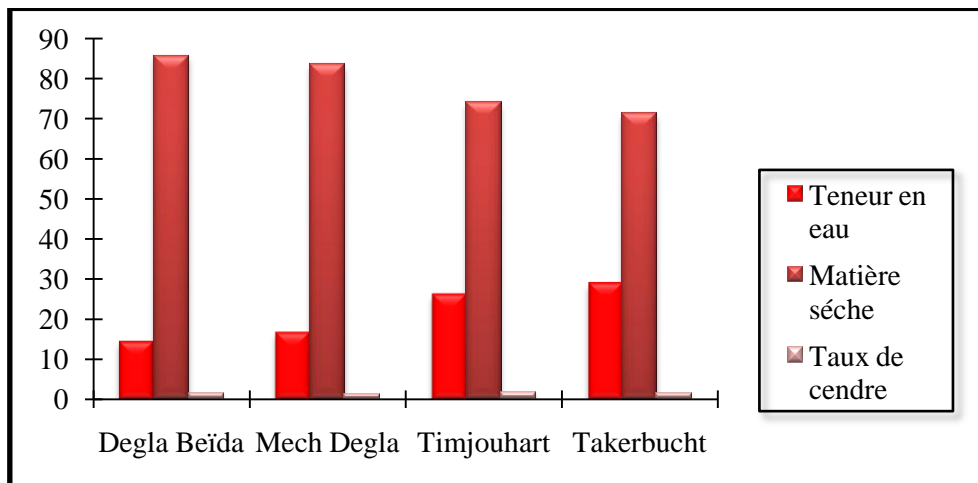


Figure XIII. Teneur en eau, matière sèche et taux de cendres des variétés de dattes étudiées.

Les teneurs en eau de Takerbucht et de Timjohart sont supérieures à celles trouvées par **Bousdira (2007)**, soit 20% et 22% respectivement.

Pour les variétés de consistance sèche (Degla Beïda et Mech Degla), nos résultats sont comparables à ceux obtenus par **Açourene et Tama, (1997)** et **Boukhiar (2009)**, soit 14.75% et 14.55% pour la variété Degla Beïda et 15% pour la variété Mech Degla. En revanche, ces valeurs sont légèrement supérieures à celles de **Noui (2007)** et **Messaid, (2008)**, soit 14.15% et 15% respectivement pour la variété Mech Degla. Signalons toutefois que les dattes à consistance sèche présentent des teneurs en eau qui se situent en général autour de 14-15%.

– Pour ce qui est du taux de cendres, qui représente la quantité totale en sels minéraux présents dans le fruit, nos résultats montrent que le cultivar Timjohart est plus riche en sels minéraux comparé aux trois autres cultivars.

Pour les cultivars Timjouhart et Takerbucht, nos résultats sont inférieurs à ceux de **Bousdira (2007)** (2.8% et 1.8% respectivement). La teneur des taux de cendres de Mech Degla est légèrement faible par rapport à celle donnée par **Messaid (2008)** (1.87% pour le même cultivar). Pour Degla Beïda, nos résultats sont également inférieurs à ceux de **Boukhiar (2009)** et **Açourene et Tama (1997)** (2.18% et 2.28% pour le même cultivar).

■pH et acidité titrable

– La Figure XIV montre que le pH des cultivars Mech Degla et Takerbucht sont pratiquement proches, soit 6.33 et 6.08 respectivement. Ces résultats concordent avec ceux de **Bousdira (2007)** (6.10 pour Takerbucht) et de **Benahmed (2007)** (6.22 pour Mech Degla).

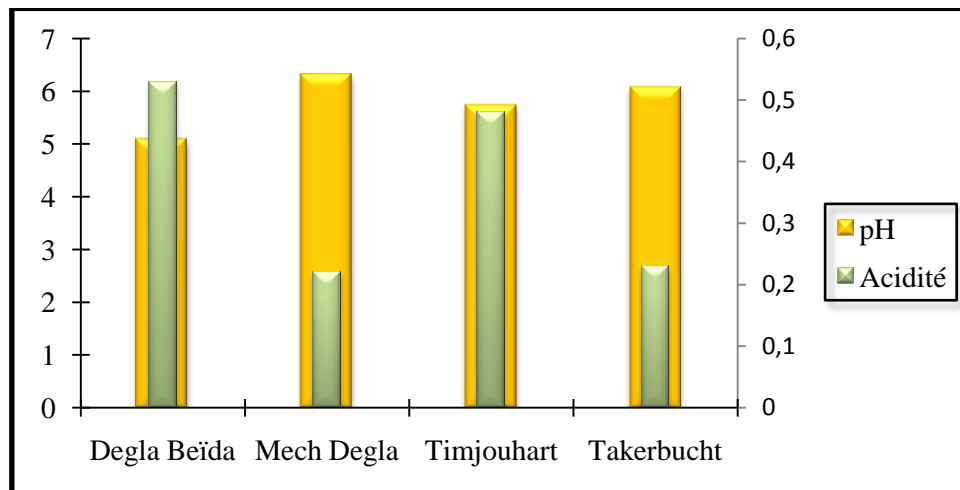


Figure XIV. pH et acidité titrable des variétés de dattes étudiées.

Par contre Degla Beïda et de Timjouhart présentent des pH légèrement acides, de 5.10 et 5.74 respectivement. Ces résultats sont similaires à ceux de **Boukhiar (2009)** et **Benahmed (2007)**, soit 5.34 et 5.21 respectivement pour Degla Beïda, et des résultats relevés par **Bousdira, (2007)**, soit 5.5 pour Timjouhart.

Il ressort des résultats obtenus que le pH des quatre variétés se situe entre 5.3 et 6.3, pH caractérisant les dattes de qualité moyenne (dattes communes) (**Reynes et al., 1994**). Notons qu'une forte acidité est souvent associée à une mauvaise qualité. Comme il a été rapporté par **Booij et al. (1992)**.

– De plus, la Figure XIV montre que la variété Degla Beïda est la plus acide (0.53%), suivie de la variété Timjouhart (0.48%) et enfin Takerbucht et Mech Degla avec les plus faibles

teneurs (0.23% et 0.22% respectivement). Ces résultats concordent avec ceux trouvés par **Messaïd (2008)** de 0.21% pour Mech Degla et ceux enregistrés par **Bousdira (2007)** de 0.5% Timjouhart. L'acidité tritrible de la variété Degla Beïda est légèrement supérieure à la valeur trouvée par **Açourene et Tama (1997)** (0.44). En revanche nos résultats pour la variété Takerbucht sont légèrement faibles comparés à ceux donnés par **Bousdira (2007)** (0.32%). Ces valeurs sont considérées comme des valeurs faibles. Delà, l'acidification des moûts par l'ajout d'acide sulfurique s'avère nécessaire pour permettre un bon développement de la levure de *Saccharomyces cerevisiae*.

■ Taux des solides solubles (TSS ou °Brix), protéines et matière grasse

– Le taux des solides solubles varie entre 41.7% et 50% (Figure XV). La variété Mech Degla est riche en saccharose 50%, cela est conforté par les valeurs données par **Benahmed (2007)** de 51.4% pour la même variété. Pour Degla Beïda, la valeur du TSS est de 44%, légèrement supérieure aux résultats donnés par **Benahmed (2007)** (30.36%) ; par contre ce résultat est inférieur à celui relevé par **Boukhiar (2009)** (75.33%). Pour les variétés Timjouhart et Takerbucht, les TSS (40% et 41.7% respectivement) sont faibles comparés aux valeurs données par **Bousdira (2007)**, soit 51.9% pour la variété Takerbucht.

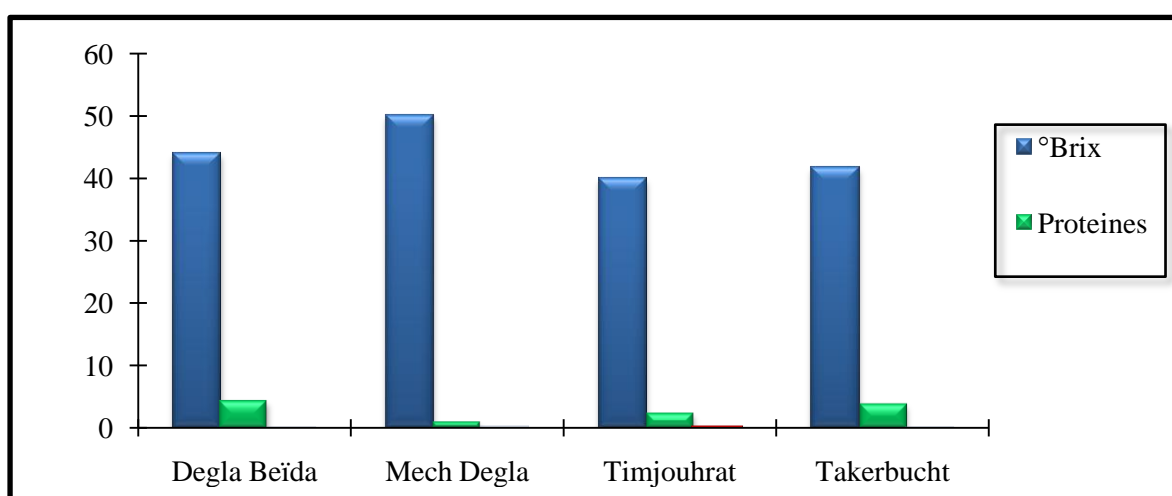


Figure XV. Taux des solides solubles (°Brix), des protéines et matière grasse des variétés de dattes étudiées.

– Les protéines représentent un nutriment important pour le fonctionnement, la structure et l'entretien de l'organisme. La Figure XV montre que les teneurs de nos dattes sont faibles et varient entre 1.03% et 4.37%. La teneur en protéines pour Timjouhart (2.40%) est légèrement inférieure à celle donnée par **Bousdira (2007)** (3.75%) pour la même variété. En revanche, la

teneur en protéines de Takerbucht (3.85%) est légèrement supérieure aux résultats donnés par **Bousdira (2007)** (2.5%).

Pour Mech Degla, la teneur en protéines est de 1.03%. Ces résultats concordent avec ceux donnés par **Zidani (2009)** et **Bacha, (2008)** (1.18% et 1.57% respectivement pour la même variété). Par contre elles sont légèrement faibles comparées aux résultats de **Messaid (2008)** et **Amellal (2008)** (2.51% et 2.41% respectivement pour la même variété). Pour Degla Beïda, (4.37%), nos résultats sont supérieurs à ceux de **Amellal (2008)** (2.41%), mais proches des résultats donnés par **Bousdira (2007)** (4.54% pour la même variété).

– La Figure XV montre également que les quatre variétés de dattes sont très pauvres en matière grasse (0.022% -0.080%). Nos résultats sont inférieurs aux valeurs données par **Amellal (2008)** et **Boukhiar (2009)** (0.27% pour Degla Beïda). Pour la variété Mech Degla, la teneur relevées (0.080%) est faible comparée à celle donnée par **Noui (2007)** (0.27% pour Mech Degla).

Nos résultats montrent que nos dattes ne renferment qu'une faible teneur en lipides.

■ Teneur en sucres

La Figure XVI montre que les taux de sucres totaux, qui sont les constituants prédominants de la datte, sont élevés et varient entre 41% et 69%.

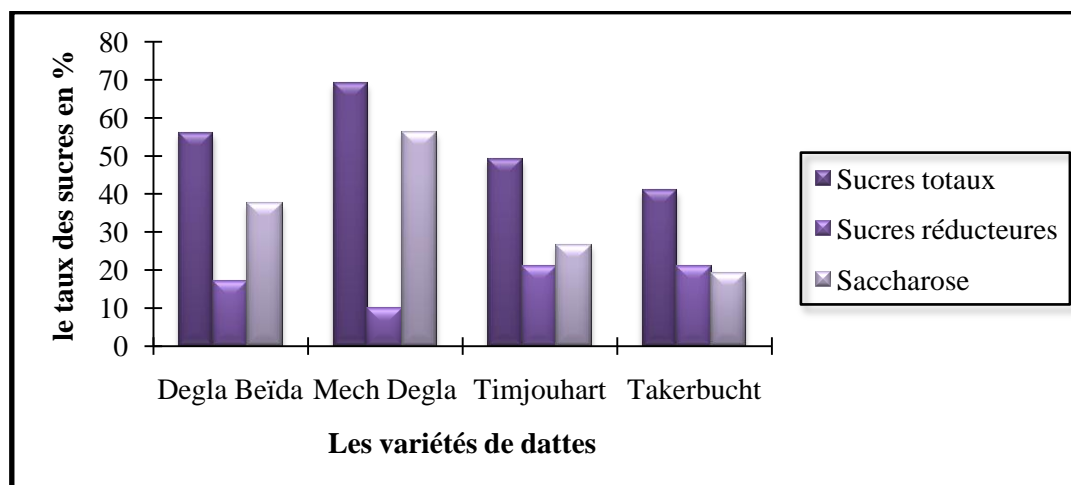


Figure XVI. Teneurs en sucres totaux, réducteurs et saccharose chez les variétés de dattes étudiées.

– Avec un taux de 69%, la variété Mech Degla est la plus riche en sucres totaux par rapport aux trois autres variétés. De plus, cette teneur est légèrement élevée comparée à celle donnée par **Bacha (2007)**, soit 62.89%. La variété Degla Beïda se classe juste après, avec un taux de 56%. La variété Timjouhart renferme une teneur en sucres totaux de 49%, cette teneur est

faible comparée aux résultats donnés par **Ighili (2008)** (56%). La variété Takerbucht présente la teneur la plus faible (41%).

– Par ailleurs, les teneurs en sucres réducteurs des quatre variétés de datte varient entre 10 et 21% et les variétés Timjouhart et Takerbucht sont les plus riches en sucres réducteurs (21%), par rapport à Degla Beïda (17%) et enfin Mech Degla (10%).

– La teneur en saccharose des quatre variétés de datte varie entre 20% et 59%. La variété Mech Degla est la plus riche en saccharose avec une teneur de 56.05% suivie par la variété Degla Beïda (37.5%) Timjouhart (28%) et Takerbucht (20%). Toutefois, les variétés Timjouhart et Takerbucht contiennent des proportions presque égales en sucres réducteurs et en saccharose. Les teneurs en saccharose sont dans une certaine mesure confortées par les résultats obtenus par analyse des TSS qui sont de 50% et 44% respectivement. En revanche, les teneurs en saccharose de Timjouhart et Takerbucht est faible comparée aux mêmes résultats obtenus(TSS) qui sont de 40% et 41.1%. C'est différence pour les deux dernières variétés pourrait être due au fait que les taux des solides solubles ne contiennent pas que du saccharose.

Il ressort de ces résultats que les sucres constituent la majeure partie de la pulpe de dattes. Ceci lui confère une grande valeur énergétique. **Munier (1973)**, **Nixon (1978)** et **Sawaya (1983)** s'accordent sur le fait que les sucres de dattes varient en fonction de la variété considérée, du climat et du stade de maturation. Néanmoins, tous s'accordent à dire que les teneurs en sucres totaux et réducteurs sont de l'ordre de 50% à 60% et 40% à 50% respectivement.

5. 2. Production de bioéthanol

Les paramètres essentiels qui nous renseignent sur l'évolution de la fermentation sont le pH, l'assimilation des sucres et la production d'alcool.

■pH

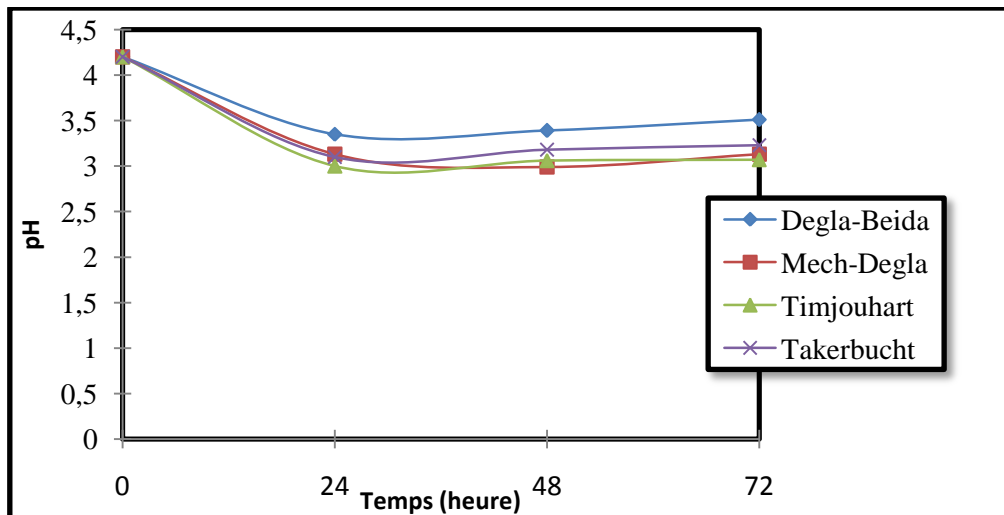


Figure XVII. Evolution du pH durant la fermentation alcoolique.

La Figure XVII montre que les pH évoluent de la même manière durant la fermentation. En effet, les pH diminuent au cours de la fermentation pendant les premières 24 heures. Puis cet abaissement est suivi d'une légère augmentation pour les quatre variétés.

La baisse du pH est directement liée à l'assimilation de la source azotée par les levures. Le métabolisme de la levure est directement responsable de cette chute. Par contre la remontée est due à un phénomène physicochimique. La production d'alcool à partir des sucres entraîne une dissociation des constituants du moût et principalement des acides organiques présents initialement dans le moût. En présence d'éthanol, la dissociation est moins importante et il en résulte une concentration en protons plus faible et donc un pH plus élevé. Il a été montré que ces deux phénomènes (assimilation de l'azote et effet de l'éthanol sur la dissociation) sont les principaux responsables de l'évolution du pH lors de la fermentation des moûts (**Akin, 2008**). Toutefois, une partie du dioxyde de carbone produit au cours de la fermentation alcoolique se dissout dans les moûts et peut contribuer aussi à l'abaissement du pH (**Boulbaba, 2013**).

■ Evolution du Taux des solides solubles (TSS ou °Brix)

La variation du °Brix au cours de la fermentation est donnée dans la Figure XVIII. Le taux des solides solubles des quatre variétés de dattes diminue au cours de la fermentation alcoolique pour atteindre 9 pour Degla Beïda, 7.2 pour Mech Degla, 5.2 pour Timjouhart et 6 pour la variété Takerbucht au bout de 72 h de fermentation. Cette diminution s'interprète par la transformation des sucres (saccharose) en éthanol par la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

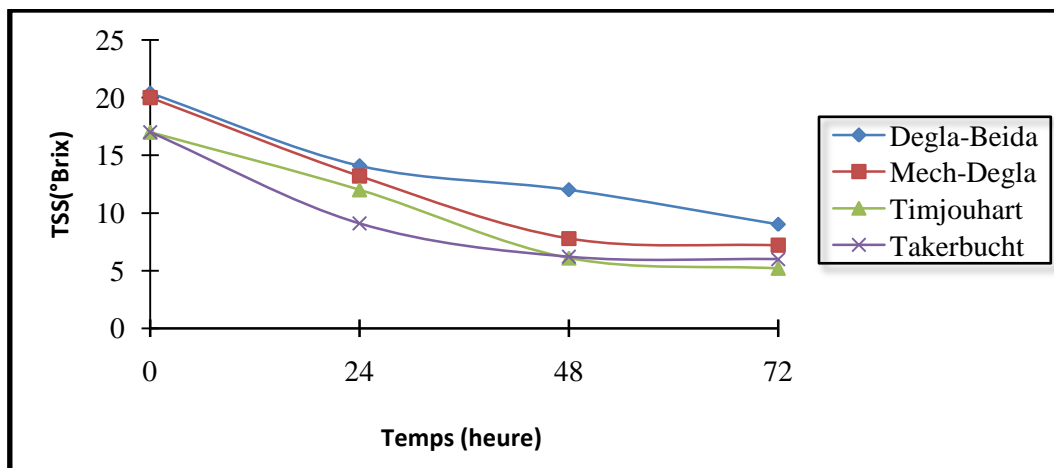


Figure XVIII. Evolution du °Brix au cours de la fermentation alcoolique des moûts de dattes des quatre variétés.

■ Evolution des paramètres biochimiques au cours de la fermentation

Les résultats concernant l'évolution de la teneur des sucres résiduels et de la production d'éthanol à partir des quatre variétés sont présentés dans les Figures XIX à XXII.

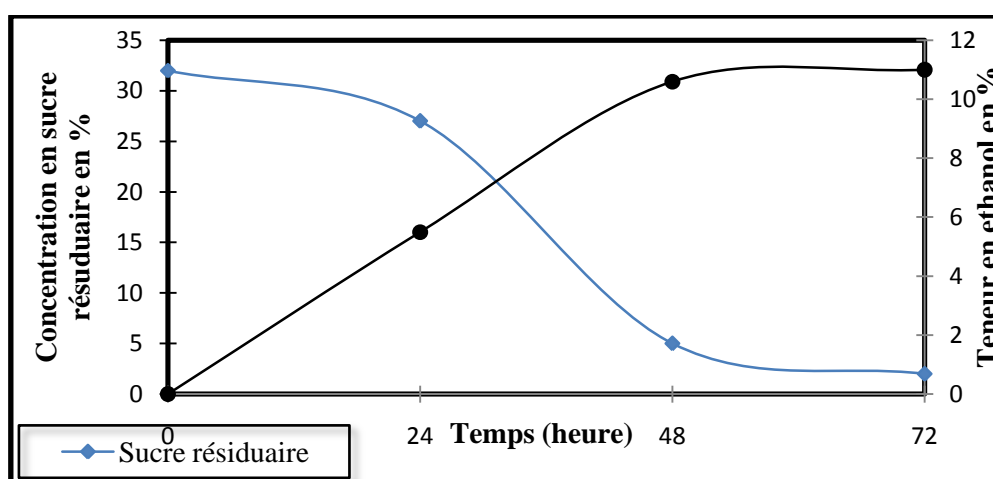


Figure XIX. Evolution de la quantité de sucres résiduels et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Degla Beïda.

► **Degla Beïda** (Figure XIX). La teneur en sucres résiduels diminue au fur et à mesure que la production d'éthanol augmente pour atteindre 2% au bout de 72 h de fermentation. En outre, la production d'éthanol évolue progressivement au cours de la fermentation pour atteindre un degré alcoolique de 5.5° qui correspond à 43.39 g/l ($\%vol \times 10 \times \text{densité d'éthanol}$) en 24 h puis 10.6° qui correspond à 83.65 g/l en 48 h pour se stabiliser à 11° qui correspond à 86.79 g/l au-delà de 72 h.

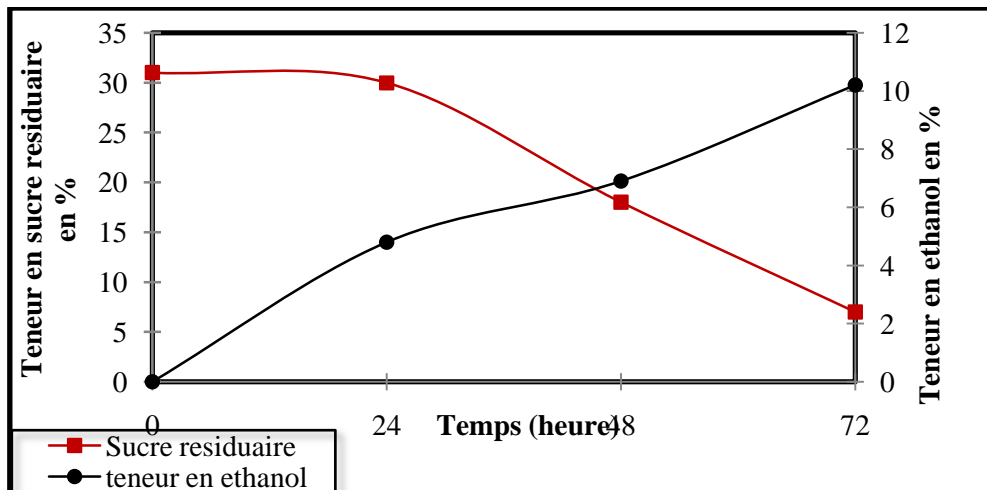


Figure XX. Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Mech Degla.

► **Mech Degla** (Figure XX). La teneur en sucres diminue et la production d'éthanol augmente pour atteindre 7% au bout de 72 h de fermentation. La production d'éthanol augmente au cours de la fermentation pour atteindre un degré alcoolique de 4.8° qui correspond à 37.87g/l en 24 h puis 6.9° qui correspond à 54.44 g/l en 48 h pour se stabiliser à 10.2° correspondant à 80.47 g/l au-delà de 72 h.

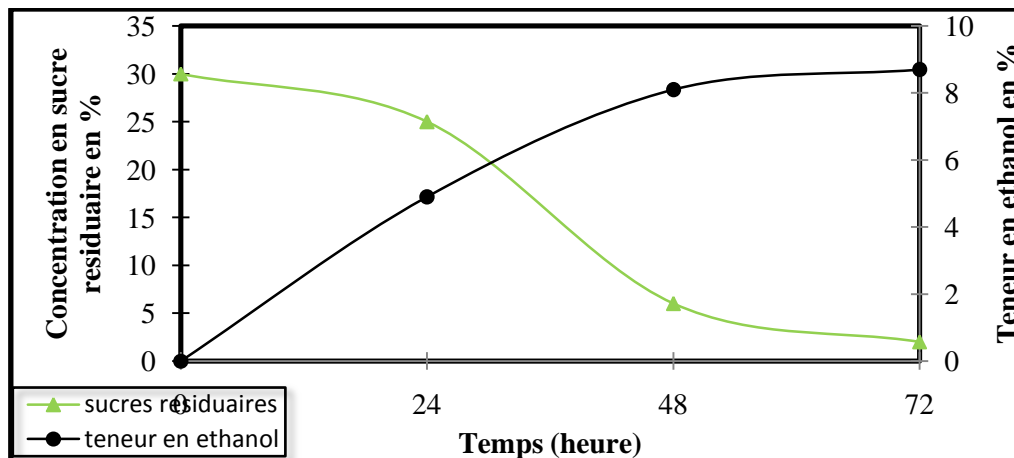


Figure XXI. Evolution de la quantité de sucres résiduaire et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Timjohart.

► **Timjohart** (Figure XXI). Au cours de la fermentation, la teneur en sucres diminue au fur et à mesure que la production d'éthanol augmente pour atteindre 2% au bout de 72 h de fermentation. La production d'éthanol augmente au cours de la fermentation pour atteindre un degré alcoolique de 4.9° qui correspond à 38.66g/l en 24 h puis 8.1° qui correspond à 63.90 g/l en 48 h pour se stabiliser à 8.7° qui correspond à 68.64 g/l au-delà de 72 h.

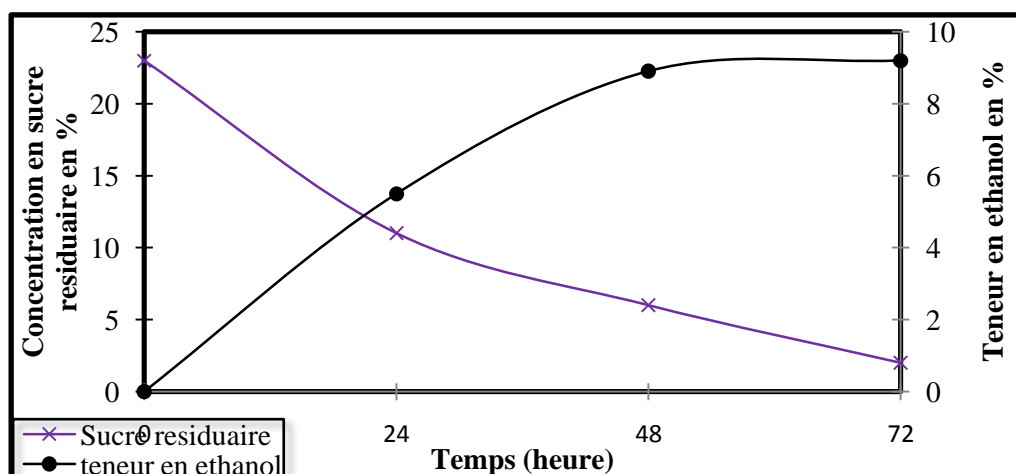


Figure XXII. Evolution de la quantité de sucres résiduels et de l'éthanol au cours de la fermentation du moût de Takerbucht.

► **Takerbucht** (Figure XXII). La Figure XXII montre qu'au cours de la fermentation, la teneur en sucres diminue au fur et à mesure que la production d'éthanol augmente pour atteindre 2% au bout de 72 de fermentation. Cependant, la production d'éthanol augmente au cours de la fermentation pour atteindre un degré alcoolique de 5.5° qui correspond à 43.39g/l en 24 heures puis 8.9° qui correspond à 70.22 g/l en 48 pour se stabiliser à 9.2 qui correspond à 72.58 g/l au-delà de 72 heures.

Tel qu'illustré dans les Figures XIX, XX, XXI et XXII, après 72 heures de fermentation des moûts, une importante dégradation des sucres est révélée. Cette transformation est surtout active durant les premières 48 heures pour les quatre variétés de dattes. Par contre la production d'alcool augmente durant les dernières 48 heures de la fermentation.

Nos résultats sont en accord avec ceux de **Dombek et Ingram(1987)**, car durant la période de croissance de la levure (durant les premières 18 heures), il ya une faible accumulation de l'éthanol, soit une teneur inférieure à 50g/l.

L'évolution de la production d'éthanol durant la fermentation montre que la cinétique de cette production pour la variété Degla Beïda est meilleure aux autres variétés. En effet, ceci implique que la quantité d'éthanol produite est proportionnelle au taux de sucres contenu dans les quatre variétés de dattes.

La teneur en éthanol produite à partir de Degla Beïda soit 86.79g/l (11°) reste faible par rapport à celle obtenue par **Açourene (2012)**, soit 130g/l, mais légèrement supérieure aux résultats donnés par **Ould-El haj (2012)**, soit 74.95 g/l (9.5°). Nos résultats sont par ailleurs similaires à ceux de **Boughnoun (1988)**, (8.5°), **Mehaia (1991)** (65g/l) et **Açourene (2008)** (87g/l).

De plus, il semble que la teneur en sucres n'ait pas été consommée totalement par la levure (Figures XIX, XX, XXI et XXII). Cela peut être dû à l'arrêt de la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* par accumulation de substances toxiques. En effet, **Meyer, (1988) et Sasson (1986)** expliquent que les acides gras formés par les levures en faible quantité deviennent toxiques pour cette dernière. L'effet des sucres et de l'alcool produit dans le milieu devient inhibiteur pour la levure (**Açourene, 2012**). En outre, la durée optimale pour une production maximale en éthanol est de 72 heures, car la plupart des sucres fermentescibles contenus dans les moûts de fermentation sont consommés. Ce résultat est en accord avec celui rapporté par **El Ogaïdi (1987)** qui donne un temps de fermentation compris entre 36 et 72 heures. D'autre part, plusieurs auteurs se sont penchés sur l'étude des facteurs responsables de l'inhibition de la biosynthèse de l'éthanol qui apparaît en fin de fermentation. A cet effet, **Hayshida (1981)** a montré que des concentrations mêmes faibles en alcool (inférieures à 6%) entraînent une inhibition partielle et irréversible de l'hexokinase. Cette inhibition est totale quand la concentration en alcool atteint 10% et plus **Aguilera (1986)**.

■ Distillation

Les différents distillats recueillis sont analysés par GCMS (chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse). La liste des composés organiques (alcools et acides organiques) présents dans les échantillons analysés (distillats) produits de la fermentation alcoolique des quatre moûts, leur temps de rétention et leurs formules chimiques sont données dans les Tableaux VIII, IX, X et XI.

Tableau VIII. Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du moût de fermentation de Degla Beïda.

N° du pic	Temps de rétention	Nom du composé	Pourcentage	Formule chimique
1	2.417	Ethanol	79.287%	C ₂ H ₆ O
2	2.952	1-Propanol	1.341%	C ₃ H ₈ O
3	3.174	Acide acétique	1.851%	C ₂ H ₄ O ₂
4	3.588	2-Méthyle-propanol	2.075%	C ₄ H ₁₀ O
5	4.398	Heptane	2.744%	C ₇ H ₁₆
6	5.467	Acétal di éthylique	0.957%	C ₆ H ₁₄ O ₂
7	5.901	2-Méthyle-4-butanol	8.715%	C ₄ H ₁₀ O
8	12.560	3-Methylbutyl acétate	0.194%	C ₇ H ₁₄ O ₂
9	16.318	6-Méthyle-3-hydrox pyridine	1.052%	C ₇ H ₉ NO
10	18.140	1-Decanol	1.783%	C ₁₀ H ₂₂ O

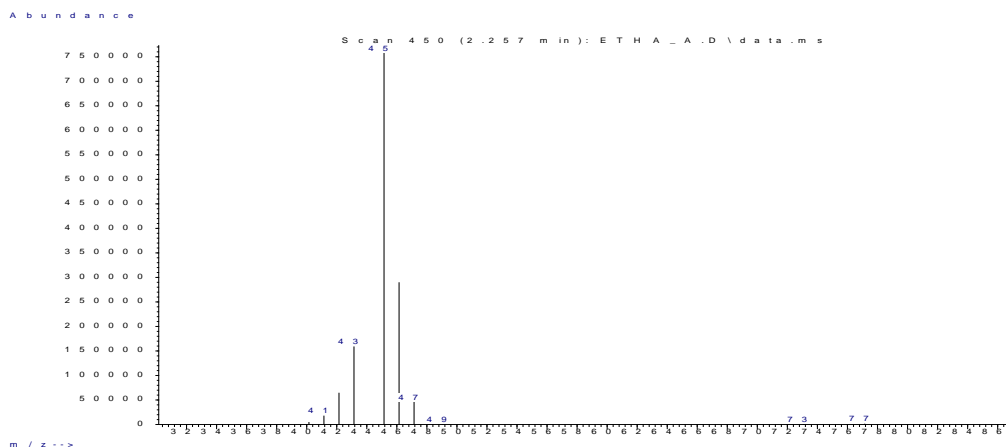


Figure XXIII. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Degla Beïda.

Tableau IX. Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du moût de fermentation de Mech Degla.

N° du pic	Temps de rétention	Nom du composé	Nombre total	Formule chimique
1	2.156	Acétaldéhyde	0.259%	C_2H_4O
2	2.279	Ethanol	95.360%	C_2H_6O
3	2.723	1-Propanol	0.213%	C_3H_8O
4	3.038	n-Hexane	0.297%	$n-C_6H_{14}$
5	3.209	Ethyle éthanoate	0.785%	$C_4H_8O_2$
6	3.350	2-Méthyle propan-1-ol	0.637%	$C_4H_{10}O$
7	3.733	Ethyl hydrogen oxalate	0.123%	$C_4H_6O_4$
8	5.616	3-Méthyl-1-butanol	1.886%	$C_5H_{12}O$
9	5.755	2-Méthylbutan-1-ol	0.440%	$C_4H_{10}O$

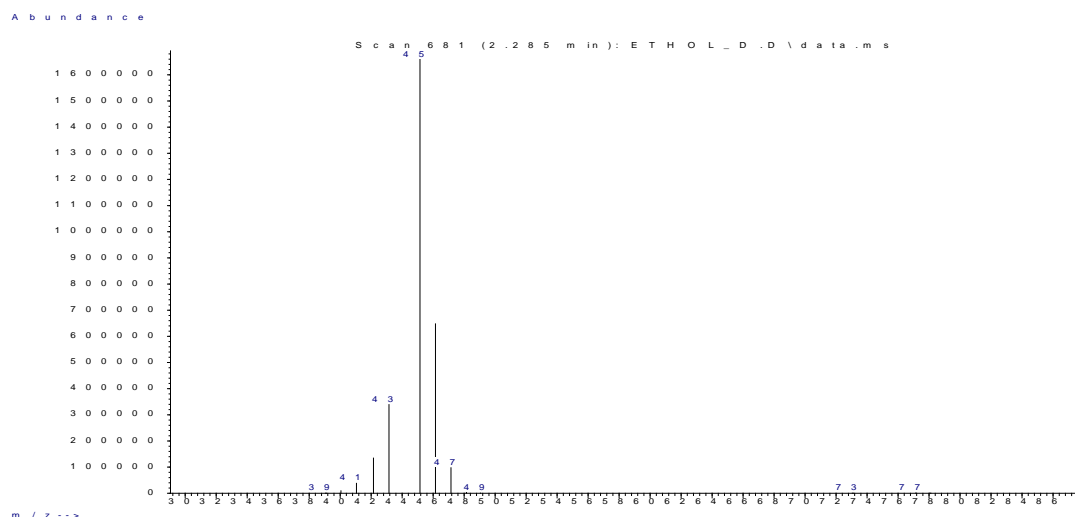


Figure XXIV. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Mech Degla

Tableau X. Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du moût de fermentation de Timjouhart.

N° du pic	Temps de rétention	Nom du composé	Pourcentage	Formule chimique
1	2.528	Ethanol	79.695%	C ₂ H ₆ O
2	3.178	Acide acétique	4.752%	C ₂ H ₄ O ₂
3	3.708	2-Methyl-1-propanol	2.033%	C ₄ H ₁₀ O
4	4.373	Heptane	0.862%	C ₇ H ₁₆
5	5.973	2-Méthyle-4-butanol	12.194%	C ₄ H ₁₀ O
6	12.507	Acétate de 3-méthylbutyle	0.464%	C ₇ H ₁₄ O ₂

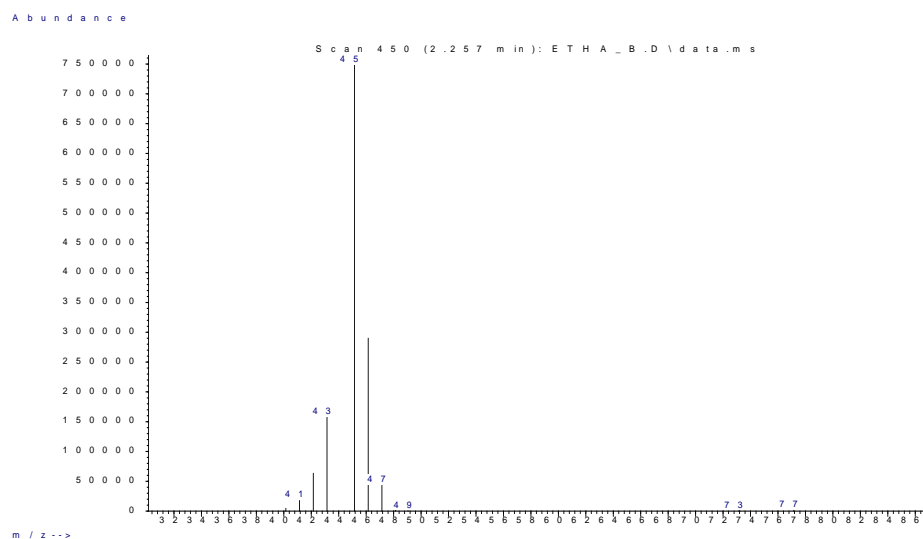


Figure XXV. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Timjouhart.

Tableau XI. Résultats de l'analyse par GCMS du distillat du moût de fermentation de Takerbucht.

N° du pic	Temps de rétention	Nom du composé	Pourcentage	Formule chimique
1	2.152	Acétaldéhyde	0.186%	C ₂ H ₄ O
2	2.354	Ethanol	92.260%	C ₂ H ₆ O
3	2.749	1-Propanol	0.457%	C ₃ H ₈ O
4	3.207	Acide acétique	1.304%	C ₂ H ₄ O ₂
5	3.376	2-Methylpropan-1-ol	0.925%	C ₄ H ₁₀ O
6	3.761	2-Hydroxypropionamide	0.481%	C ₃ H ₇ NO ₂
7	5.636	2-Methyl-4-butanol	3.775%	C ₄ H ₁₀ O
8	5.770	2-Methyl-1-butanol	0.613%	C ₅ H ₁₂ O

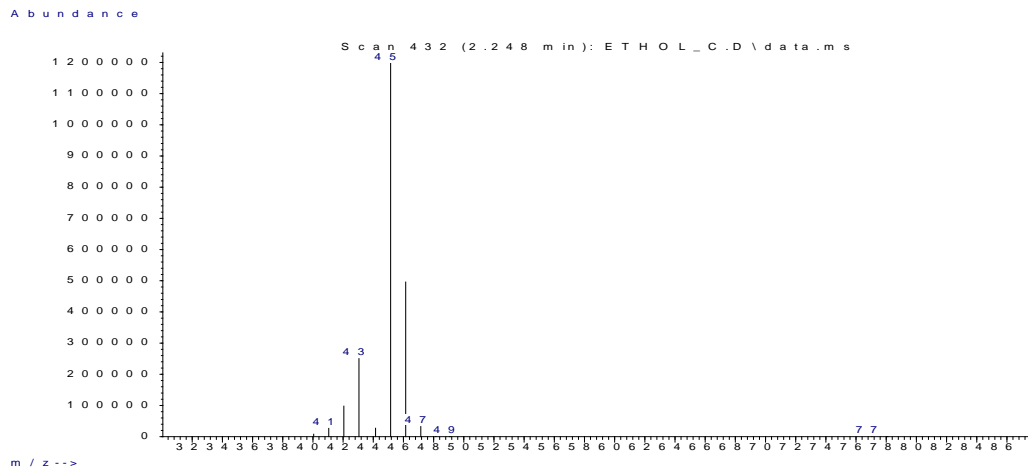


Figure XXVI. Spectre obtenu par GCMS du distillat du moût de fermentation de la variété Takerbucht.

L'analyse par GCMS des spectres des distillats des quatre moûts révèle la présence de composés volatils. En effet, lors de la fermentation alcoolique, de nombreux composés sont produits comme métabolites secondaires. Les composés volatils retrouvés dans les différents distillats appartiennent majoritairement à trois classes chimiques. On note les alcools supérieurs qui sont, pour leur part, directement issus de l'action des levures. Ils sont majoritairement représentés dans les distillats par : 2-méthyle-1-propanol, 2-méthyle-4-butanol, 3-méthyle-1-butanol, propanol, 2-méthyle-1-butanol et éthanol, avec une prédominance de ce dernier, soit 95.360% pour la variété Mech Degla, 92.260% pour la variété Takerbucht, 79.287% pour la variété Degla Beïda et 79.695% la variété Timjouhart.

Deux voies métaboliques peuvent mener à la formation des alcools supérieurs lors de la fermentation alcoolique : la transformation des sucres ou bien celle des acides aminés en α -cétoacides. Les α -cétoacides subissent une décarboxylation pour former des aldéhydes. Les aldéhydes sont alors réduits en alcools correspondants (**Lambrechts et al., 2000**).

Les esters sont le deuxième groupe de composés volatils majoritaires présents dans les distillats après l'éthanol (**Valappil et al., 2009**). Les esters présents dans les différents distillats sont : diethyl acétal, 3-Methylbutyl acétate et éthyle éthanoate. Pour les composés carbonylés, l'acétaldéhyde est le composé le plus important formé pendant la fermentation grâce au métabolisme des levures sur les sucres (**Lambrechts et al., 2000**). Toutefois, la présence d'une faible concentration d'acide acétique, soit 1.851%, pour Degla Beïda, 4.752% pour Timjouhart et 1.304% pour Takerbucht est probablement due à la pénétration d'oxygène à un certain moment de la fermentation (anaérobie facultative). En fait, en présence d'oxygène, une partie de l'acétaldéhyde est transformée en acide acétique au lieu de l'éthanol, ou bien une partie de l'éthanol peut être transformée en acide acétique (**Herrero, 2011**).

Conclusion

Cette étude a pour objectif l'utilisation des dattes de faible valeur marchande, Degla Beïda, Mech Degla, Timjouhart et Takerbucht, comme substrats pour la production de bioéthanol.

L'étude des caractéristiques morphologiques montre que les quatre variétés diffèrent l'une de l'autre de par leur couleur, leur forme et leur composition biochimiques.

Les dattes des variétés Degla Beïda et Mech Degla sont des dattes de consistance sèche et sont riches en saccharose. Par contre, les variétés Timjouhart et Takerbucht sont des dattes de consistances demi-molle et contiennent des proportions presque égales en sucres réducteurs et en saccharose.

L'étude des paramètres biochimiques a révélé que les quatre variétés de dattes présentent des pH relativement acides. Le pH acide de ces dattes permet leur conservation, car il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération.

Les variétés de dattes étudiées sont riches en sucres facilement assimilables par *Saccharomyces cerevisiae* pour satisfaire les besoins de la levure, elles peuvent donc être utilisées comme source carbonée.

Après 72 heures de fermentation, les sucres des mouts sont majoritairement consommés et convertis en éthanol. La teneur en éthanol la plus élevée est relevée sur Degla Beïda (11°), suivie par les variétés Mech Degla, Takerbucht et Timjouhart.

L'analyse par GCMS des distillats obtenus à partir des quatre vins de dattes montre la présence de plusieurs composés volatils, qui sont majoritairement des alcools supérieurs avec prédominance de l'éthanol. Des esters, de l'acide acétique et de l'acétaldéhyde sont également présents, mais avec des teneurs très faibles.

Pour conclure, nous pouvons dire que les quatre variétés de dattes qui ont fait l'objet de cette étude constituent non seulement un aliment très énergétique riche en sucres facilement assimilables et une bonne source d'éléments minéraux mais, considérées comme matière première, ces dattes offrent d'énormes possibilités si leur valorisation par le biais de la technologie de transformation et de biotransformation est envisagée.

A la lumière de ces résultats, certaines perspectives pourraient être émises :

- ❖ L'étude des caractéristiques structurelles et fonctionnelles des souches des levures produites localement à partir des différentes variétés de dattes et leurs performances en production d'éthanol.
- ❖ Des études économiques précises sont indispensables afin de fixer avec exactitude le coût de production et le bénéfice de la valorisation des dattes de faible valeur marchande par voie biotechnologique pour la production de bioéthanol.
- ❖ Concernant l'industrialisation de la production de l'éthanol, il est possible de mettre en place des ateliers de fabrication de l'éthanol à partir des dattes. Ceci permettra à l'Algérie d'économiser des devises et de valoriser ces dattes de faible valeur marchande.

Références bibliographiques

A

- Abd-Alla, M.H., Morsy, F.M., El-Enany, A.W.E., 2011. Hydrogen production from rotten dates by sequential three stages fermentation. *Int. J. Hydrogen Energy*. 36: 13518–13527.
- Abd-Alla, M.H., El-Enany, A.W.E., 2012. Production of acetone–butanol–ethanol from spoilage date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits by mixed culture of *Clostridium acetobutylicum* and *Bacillus subtilis*. *Biomass Bioenergy*. 42: 172–178.
- Abou-Zied, A. A., Baeshin, N.A., Baghlaf, A.O., 1991. The formation of oxytetracycline in date-coat medium. *Bioresour. Technol.* 37: 179–184.
- Açourene, S., 2012. Valorisation biotechnologique des dattes de faible valeur marchande par la production de la levure boulangère, éthanol, acide citrique et α -amylase. Thèse de Doctorat INA option science Agronomique. 164 p.
- Açourene, S., Ammouche, A., 2012. Optimization of ethanol, citric acid, and α -amylase production from date wastes by strains of *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, and *Candida guilliermondii*. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 39: 759–766.
- Açourene, S et Tama, M., 1997. Caractérisation Physico-chimique des Principaux Cultivars de Dattes de la région des Zibans. *Rev Recherche Agronomique, Revue de l'INRAA*. 59 – 66.
- Açourene, S., Ammouche, A., Djaafri, K., 2008. Valorisation des rebuts de dattes par la production de la levure boulangère, de l'alcool et du vinaigre. *Sciences & Technologie*. 28: 38-45.
- Aguilera, A. and Benitez, T., 1986. Ethanol-Sensitive Mutants of *Saccharomyces cerevisiae*, *Archives of Microbiology*. Vol. 143, N°4: 337 – 344.
- Akin, H., 2008. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de moûts de raisins: modélisation et interprétation métabolique. Thèse de doctorat École doctorale: Mécanique Energétique Génie Civil et Procédés. Option: Génie des Procédés et Environnement. 107p.
- Al Farsi, M. A., Lee, C. Y., 2008. Nutritional and functional properties of dates: a review Critical . *Reviews in Food Science and Nutrition*. 48: 877–887.
- Allouache, A., 2012. Etude de matières premières locales non alimentaires pour la production de biocarburant. Mémoire de magister en énergies renouvelables Ecole nationale polytechnique (INP) Alger. Option: Bioénergies. 111 p.
- Ahmed, A., Ahmed, A.W., Robinson, R. K., 1995. Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chemistry*. 54: 305–309.
- Aït- Aneur, L., 2001. Analyse du processus de diffusion des sucres, des acides organiques et de l'acide ascorbique dans le système : Mech Degla/Jus de citron. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option génie Alimentaire. 80 p.
- Al-Hooti, S., Juan S., Quabazard, H., 1995. Studies on the physico-chemical characteristics of date fruits of five UAE cultivars at different stages of maturity. *Arab Gulf J.* 13: 553-569.

Al-Hooti, S., Sidhu, J. S., Quabazard, H., 1998. Chemical composition of seeds date fruit cultivars of United Arab Emir. *J. Food Sci. Tech.* 35: 44-46.

Al-Ogaidi, H. K., 1987. Dates and confectionary products. Ed .F.A.O, Baghdad, Irak. 182 p.

Al-Shahib, W., Marshall R J. 2002. Dietary fibre content of dates from 13 varieties of date palm *Phoenix dactylifera* L. *Inter. J. Food. Sci and Tech.* 37: 719-721.

Al-Shahib, W., Marshall R. J., 2003a. The fruit of the date palm: it's possible use as the best food for the future. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54: 247-259.

Al-Shahib, W., R. J. Marshall. 2003b. Fatty acid content of the seeds from 14 varieties of date palm *Phoenix dactylifera* L. *Int. J. Food Sci. Tech.* 38: 709-712.

Amellal, H., 2008. Aptitude technologique de quelques variétés communes de dattes: formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de doctorat Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option: Génie Alimentaire. 127 p.

Amrane, A., 2007. Préparation et incorporation dans la margarine d'un extrait de dattes des variétés sèches. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option : Génie Alimentaire. 102p.

B

Bacha, A., 2008. Production et étude de l'activité de l'invertase produite par la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur substrat a base de datte. Thèse de magister Université EL Hadj Lakhdar - Batna option Qualité et Sécurité Alimentaire. 75 p.

Balat, M., Balat, H., 2008. Progress in bioethanol processing. *Progr. Energy Combust. Sci.* 34: 551-573.

Ballerini, D., 2006. Les biocarburants: état des lieux, perspectives et en jeux du développement. Editions Technip, Paris. 348 p.

Barnett, J. A., 1976. The utilization of sugars by yeasts. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry.* 32: 125-234.

Barrow, S., 1998. A monograph of Phoenix L. (Palmae: *Coryphoideae*). *Kew Bulletin.* 53: 513-575.

Buelguedj, M. 2001. Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du Sud-Est Algérien, INRAA. El-Harrach, Alger. 11: 289 p.

Benahmed, A., 2007. Etude et optimisation d'un processus de fabrication traditionnelle du vinaigre à partir de deux variétés de dattes communes cultivées dans le sud Algérien. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option: Génie Alimentaire 76 p.

Benamara, S ., Gougam, H ., Amellal, H ., Amrane, D ., Benahmed, A ., Noui, Y ., 2008. Some Technologic Proprieties of Commun date (*Phoenix dactylifera L.*) Fruits. *American Journal of Food Technologie*. 3(2): 79-88 .

Benchelah, A.C ., Maka, M ., 2006. Les dattes, de la préhistoire à nos jours. *Phytothérapie ethnobotanique springer*. 1: 43-47.

Besbes, S ., Drira, L ., Blecker, C ., Deroanne, C ., Attia, H ., 2009. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera L.*): compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chemistry*. 112: 406–411.

Birch, R., Walker, G., 2000. Influence of magnesium ions on heat shock and ethanol stress responses of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and microbial technology*. 26: 678 – 687.

Booij, I., Piombo, G., Risterucci, J. M., Coupe, M., Thomas, D. et Ferry, M., 1992. Etude de la composition chimique de dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). *Journal des fruits* 47: 667-678.

Boubekri, A., 2010. Optimisation des traitements thermiques de la datte « Deglet-nour ». Mémoire de magister Université EL Hadj Lakhdar. Option Energétique. 121 p.

Boughnou, N., 1988. Essai de production de vinaigre à partir des déchets de dattes. Mémoire de magister; INA, El Harrach, Alger. 82 p.

Boukhiar, A., 2009. Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien: essai d'optimisation. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option: technologie alimentaire. 102 p.

Boulbaba, L., Belgaib, J., Benamor, H., Hajji, N., 2013. Production of bio-ethanol from three varieties of dates. *Renewable Energy* 51: 170-174.

Boulton, C., Quain, D., 2001. *Brewing Yeast and Fermentation*. Blackwell Science Ltd. 638 P.

Bousdira, K.H., 2007. Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleur gestion et une valorisation de la biomasse: caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région du M'Zab, classification et évaluation de la qualité. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option: Génie Alimentaire. 146 p.

Brennan, L., Owende, P., 2010. Biofuels from microalgae – a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew. Sust. Energy Rev*. 14 (2): 557–577.

C

Chandrasekaran, M., Bahkali, A. H., 2013. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology – Review. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 20: 105–120.

Cot, M., 2006. Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol. Thèse de doctorat. (INP Toulouse). Option Microbiologie et Biocatalyse industrielles. 265 p.

Castro, C.M., 2007. *Brettanomyces bruxellensis*: Etude Métabolique, Cinétique et Modélisation. Influence des facteurs environnementaux. Thèse de doctorat (INP Toulouse). Option : Génie de Procédés et de l'Environnement. 207 p.

D

Demirbas, A., 2005. Estimating of structural composition of wood and non-wood biomass samples. *Energy Sources*. 27: 761–7.

Demirbas, M.F., Balat M., Balat H., 2009. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Convers Manage*. 50: 1746–60.

Devshony, S., Eteshola A., Shani A. 1992. Characteristics and some potential application of date palm (*Phoenix dactylifera*) seeds and seed oil. *Amer. Oil Chem. Soc*. 69: 595-597.

Dragone, G., Fernandes, B.D., Abreu, A.P., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., 2011. Nutrient limitation as a strategy for increasing starch accumulation in microalgae. *Appl. Energy*. 88 (10) : 3331–3335.

Didderen ,I., Destain,J., and Thonart, p., 2008. Le bioéthanol de seconde generation. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Les presses agronomiques de Gembloux. 128 p.

Djerbi, M., 1994. Précis de phéniculture, FAO, Rome. 192 p.

Djidel, A., 2007. Production d'aide lactique par *Lactobacillus casei sub sp rhamnosus* sur jus de datte : cinétique et optimisation en culture discontinues semi-continues et continues. Thèse de doctorat INPL. Option biothenologies et industries alimentaires. 217 p.

Dombek, K. M., Ingram L. O., 1986. Magnesium limitation and its role apparent toxicity of ethanol during yeast fermentation. *Appl. Environ. Microbiol*. 52: 975-981.

Dombek, K. M., Ingram L. O., 1987. Ethanol production during batch fermentation with *saccharomyces cerevisiae*: changes in glycolytic enzymes and internal pH. *Appl Environ Microbiol*. 53(6): 1286-1291.

Dowson, W., Aten, A., 1963. Récolte et conditionnement des dattes. Ed. FAO, Rome 398: 6-44.

Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28: 350-356.

E

Espiard, E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Techniques et Documentation Lavoisier, Paris. 360 p.

El Hadrami, E ., El Hadrami, A ., 2009. Breeding date palm. In: Jain SM, Priyadarshan PM (eds.) Breeding plantation tree crops: tropical species. *Springer, New York*: 191–216.

El Hadrami, A ., Daayf, F., El Hadrami, I., 2011. Date Palm Genetics and Breeding. In: Jain, S. M., Al-Khayri, J. M and D.V. Johnson. Eds. *Date Palm Biotechnology*, Springer, Netherlands: 479-502.

El Hadrami, A., Al-Khayri, J. M., 2012. Socioeconomic and traditional importance of date palm. *Emir. J. Food Agric.* 24 (5): 371-385.

F

FAO, 2010. Données statistiques de production végétale, site FAOSTAT Site web Foa.org.com.

Ferreira, B. S., Cecilia, R. C., Van Keulen, F., Cabral, M. S., 2004. Recombinant *Saccharomyces cerevisiae* strain triggers acetate production to fuel biosynthetic pathways. *Journal of biotechnology.* 109: 159-167.

Fiechter, A., seghezzi, W., 1992. Regulation of glucose metabolism in growing yeast cells. *Journal of biotechnology.* 27: 27-45.

G

Gilles, P., 2000. Cultiver le palmier dattier. Ed. CIRAS. 110 p.

Goffeau, A., Barrell, B. G., Bussey, H., Davis, R. W., Dujon, B., Feldmann, H., Galibert, F., Hoheisel, J.D., Jacq, C., Johnston, M., 1996. Life with 6000 Genes. *Science.* 274 (5287): 546-567.

Goh, C. S., Lee , K. T., 2010. A visionary and conceptual macroalgae-based third-generation bioethanol (TGB) biorefinery in Sabah, Malaysia as an underlay for renewable and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy.* Reviews. 14 : 842–848.

Gupta, N., Kushwaha, H., 2011. Date palm as a source of bioethanol producing microorganisms. *Date Palm Biotechnology.* Springer, Netherlands: 711–727.

H

Hanachi, S., Khitri, D., Benkhalifa, A.,1998. Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. 225 p.

Harun, R., Danquah, M. K., Forde, G. M., 2010. Microalgal biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 85 (2): 199– 203.

Hayshida, S., et Ohta, K., 1981. Formation of high concentrations of alcohol by various yeasts. *Journ Inst Brew,* 87: 542 - 43.

Herrero, M., 2011. Influence des fermentations alcoolique et malolactique sur la composition chimique des cidres à distiller en cours d'élaboration. Thèse de Doctorat de l'université de CAENS. Option: Chimie Théorique, Physique, Analytique. 209 p.

Ho, S. H., Chen, C. Y., Chang, J. S., 2012. Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresour. Technol.* 113: 244–252.

Hussein, F., Moustafa, S., El-Samiraea, F., El-Zeid, A., 1976. Studies on physical and chemical characteristics of eighteen date cultivars grown in Saudi Arabia. *Indian J. Hort.* 33: 107-113.

I

Ighili, H., 2008. Interactions entre la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera-Pyralidae) et quelques cultivars de dattes dans les palmeraies de Ouargla (Sud-Est algérien). Mémoire de magister Université KASDI MERBAH. Ouargla. Option: Gestion des agro-systèmes sahariens. 95 p.

Illman, A. M., Scragg, A. H., Shales, S. W., 2000. Increase in *Chlorella* strains calorific values when grown in low nitrogen medium. *Enzyme Microb. Technol.* 27 (8): 631–635.

J

Jain, S. M., Al-Khayri, J. M., Johnson D. V., 2011. Date Palm Biotechnology. Springer, Netherlands. 743 p.

John, R. P., Anisha, G. S., Nampoothiri, K. M., Pandey, A., 2011. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. *Bioresour Technol.* 102(1): 186–193.

Jones, R. P., Pamment, N. Greenfield, P. F., 1981. Alcohol fermentation by yeasts-the effect of environmental and other variables. *Process biochemistry.* 16: 42-49.

Jones, D. T., Woods, D. R., 1986. Acetone-butanol fermentation revisited. *Microbiol. Rev.* 50: 484–524.

K

Kacimi, M., 2008. Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes du développement durable. Grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke. 78 p.

Kappeli, O., 1986. Regulation of carbon metabolism in *Saccharomyces cerevisiae* and related yeasts. *Advanced Microbial Physiology.* 28: 181-209.

Khiyami, M., Aboseide, B., Pometto, A., 2008. Influence of complex nutrient sources: dates syrup and dates Pits on *Lactococcus lactis* growth and nisin production. *J. Biotechnol.* 136: 717–742.

L

Lachab, F., 2010. Extraction et caractérisation physico-chimique et biologique de la matière grasse du noyau des dattes: essai d'incorporation dans une crème cosmétique de soin. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdés. Option: Génie Alimentaire. 112 p.

Lambrechts, M. G. and Pretorius, I. S., 2000. Yeast and its importance to wine aroma – a review. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 21: 97-129.

Lin, Y., Shuzo, T., 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl Microbiol Biotechnol.* 69: 627–642.

M

Manjeshwar, S. B., Bantwal, R., Vittaldas, B., Shaun, M. K., Harshith, P. B., Praveen, K. V., 2013. A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International.* 44: 1812–1822.

Mehaia, M.A., Cheryan, M., 1991. Fermentation of date extracts to ethanol and vinegar in batch and continuous membrane reactors. *Enzyme Microb. Technol.* 13, 257–261.

Messaid, H., 2008. Optimisation du processus d'immersion- réhydratation du système dattes sèches- jus d'orange. Mémoire de magister Université M'Hamed Bougara Boumerdès. Option : Génie Alimentaire. 74 p

Meyer, A., 1988. Cours de microbiologie générale. Ed. Doin, Paris, 333 p.

Mohan, D., Pittman, C. U., Steele, P. H., 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuels.* 20: 848–89.

Mohan, S. J., 2012. Date palm biotechnology: Current status and prospective - an overview. *Emir. J. Food Agric.* 24 (5): 386-399.

Munier, P. (1973). Le palmier dattier. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris. 217 p.

N

Nixon, R.W., Carpenter, B., 1978. Growing Dates in United States. United States Department of Agriculture Information, Bulletin Prepared by Science and Education Administration. 44 – 45.

Noui, Y., 2007. Caractérisation physicochimique comparative des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de dattes Mech Degla. Mémoire de Magister Université de Boumerdès. Option: Technologie Alimentaire. 62 p.

O

Olivier, M. J., 2003. Chimie de l'environnement. Les productions Jacques Bernier. 301 p.

Ould el hadj, M. D., Sebihi, A. H., Siboukeur, O., 2001. Qualité Hygiénique et Caractéristique Physico-Chimique du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ouargla. *Rev. Energ. Ren: Production et Valorisation-Biomasse:* 87-92.

Ould el hadj, M., Cheick, M., Hamdi, W., Sayah, Z. et Bouaziz, S., 2012. Etude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (Degla Beida, Tacherwit et Hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (sahara septentrional est algérien). *Algerian journal of arid environment.* 2: 78-87.

Oura, E., 1977. Reaction products of yeast fermentations. *Process Biochem.* 12: 19-21.

P

Pagliardini, J., 2010. Optimisation du rendement de production de bioéthanol chez *Saccharomyces cerevisiae* par minimisation de la synthèse du glycérol: Approche intégrée de génie métabolique et microbiologique. Thèse de doctorat INP Toulouse. Option Ingénierie Microbienne et Enzymatique. 232 p .

Petrik, M., Kappeli, O., Fichter, A., 1983. An expanded concept for the glucose effect in the yeast *saccharomyces uvarum*. involvement of short and long term regulation. *J. Gen. Microbiol.* 129: 43- 49.

Pintaud, J. C., Zehdi, S., Couvreur, T., Barrow, S., Henderson, S., Aberlenc-Bertosi, F., Tregear, J., Billotte, N., 2010. Species delimitation in the genus *Phoenix* (*Areaceae*) based on SSR markers, with emphasis on the identity of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.). Diversity, phylogeny and evolution in the monocotyledons. *Aarhus University Press*, Denmark: 267–286.

Q

Qureshi, N., Ezeji, T. C., 2008. Butanol, ‘a superior biofuel’ production from agricultural residues (renewable biomass): recent progress in technology. *Biofuels, Bioprod. Biorefin.* 2: 319–330.

R

Radwan, H. H., Alanazi, F. K., Taha, E. I., Dardir, H. A., Moussa, I. M., Alsarra, I. A., 2010. Development of a new medium containing date syrup for production of bleomycin by *Streptomyces mobaraensis* ATCC 15003 using response surface methodology. *Afr. J. Biotechnol.* 9: 5450–5459.

Renault, P. E., 2010. Caractérisation phénotypique de l’espèce *Torulospora delbrueckii* en conditions œnologiques. Application à la co-inoculation avec l’espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Thèse de doctorat Université de Bordeaux. 219 p.

Reynes, M., Bouabidi , H., Piombo, G., Risterucci, A. M., 1994. Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région des Djerid en Tunisie. *Journal des Fruit*, 49: 289-298 p.

Reynes, M., 1997. Influence d’une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques de la datte. Thèse de doctorat de l’INP Toulouse, option: Biotechnologies et industries. 120 p .

Riess, J., 2012. Intensification de la brique "fermentation alcoolique » de substrats betteraviers (et autre substrats) pour la production d’éthanol. Thèse de doctorat (INP Toulouse). Option Génie des procédés et de l’environnement. 177 p .

Roukas, T., 1994. Ethanol production from non sterilized carbon pod extract by free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells using fed-batch culture. *Biotech. bioeng.* 43 (3): 189 – 194.

S

Sakaguchi, J., 2010. Best mix of primary energy resources by renewable energy and fossil fuel with CCS in view of security, stability and sustainability—A vision on hydrogen supply chain by organic chemical hydride method. *Technological Sciences* 53: 62–68.

Sanchez, Y. G., 2008. Etude de l'adaptation et de la gestion de l'activité cellulaire dans un bioréacteur bi étagé: intensification de la production d'éthanol. Thèse de doctorat INP Toulouse. Option Ingénieries Microbienne et Enzymatique. 213 p .

Sanchez, O. J., Cardona, C. A., 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*. 99: 5270-5295.

Sasson, A., 1986. Nourrir demain les hommes. Ed. UNESCO, Pays Bas, 765 p .

Sawaya, W., Safi, L., Black, L. T., Al-muhamed, M., 1983. Physical and chemical characterization of the major date varieties grown in Saudi Arabia. *Date palm J.* 2:183-196.

Shinwari, M. A., 1993. Date palm. In: R. Macrae, R. K. Robinson and M. J. Sadler. (Eds.) *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology & Nutrition*, London, Academic Press. 2: 1300-1305.

Siboukeur, O., 1997. Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Mémoire de Magister, INA. El-Harrach, Alger. 106 p.

Salomon, B. D., Barnes J. R., Halvorsen K. E., 2007. Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. *Biomass Bioenerg.* 31:416–25.

T

Toutain, G., 1972. Observations sur la reprise végétative du palmier dattier. *Al Awania*, 43: 81-94.

V

Valappil, Z. A., Fan, X., Zhang, H. Q., Rouseff, R. L., 2009. Impact of thermal and nonthermal processing technologies on unfermented apple cider aroma volatiles. *J. Agric. Food Chem.* 57: 924-929.

Vall, O. M., Ahmed, M. B., Bounaa, Z. E. O., Lemine, F. M. M., Djeha, T. K. O., Mokhtar, T., Salem. A. O. M., 2011. Use of multivariate analysis to assess phenotypic diversity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 127: 367–371.

W

Walker, G. M., 2010. Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol, Vents Publishing ApS ISBN 978-87-7681-681-0. 114 p .

Wenjie, L., Reinout, H., Gjalte, H., 2011. Is bioethanol a sustainable energy source? An energy-, exergy-, and emergy-based thermodynamic system analysis. *Renewable Energy* . 36: 3479-3487.

Wümpelmann, M., Kjaergaard, L., Joergens, B. B., 1984. Ethanol production with *Saccharomyces cerevisiae* under aerobic conditions at different potassium concentrations. *Biotech. Bioeng.* 26 (4): 301-307.

Y

Yaliwal, V. S., Banapurmath, N. R., Gireesh, N. M., Tewari, P. G., 2014. Production and utilization of renewable and sustainable gaseous fuel for power generation applications: A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34: 608–627.

Z

Zidani, S., 2009. Influence des techniques de séchage sur la solubilité des protéines de la levure *Saccharomyces cerevisiae* produite dans un milieu à base de datte. Mémoire de magister Université El Hadj Lakhdar Batna. Option: qualité et sécurité alimentaire. 93 p .

Annexe I

Tableau A.I Gamme étalon pour le dosage des sucres totaux.

Quantité de glucose (ml)	0	0.2	0.4	0.8	1	1.2	1.6	2
Quantité d'eau distillée (ml)	2	1.8	1.6	1.2	1	0.8	0.4	0
Concentration ($\mu\text{g/ml}$)	0	0.001	0.002	0.004	0.005	0.006	0.008	0.01
Densité optique	0	0.016	0.033	0.06	0.073	0.082	0.119	0.149

Tableau A.II Gamme étalon pour le dosage des sucres réducteurs.

	Témoin	1	2	3	4	5
Volume d'eau (ml)	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
Volume de la solution de glucose (g/l)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Concentration (g/l)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Absorbance	0.217	0.477	1.026	1.46	2.06	2.52

Annexe II

Composition du milieu Carlsberg

Extrait de levure : 20 g

Saccharose : 100 g

Sulfate de magnésium (MgSO_4) à 20% : 05 ml

Phosphate diammonique ($(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$) à 20% : 05 ml

Eau distillée : 1000 ml

Le pH est ajusté à 4,5 avec H_2SO_4 (1N)

Annexe III

Les appareils

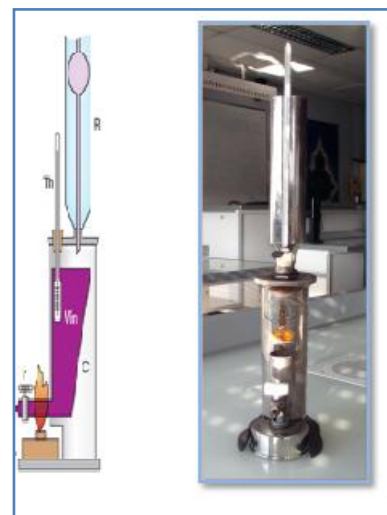
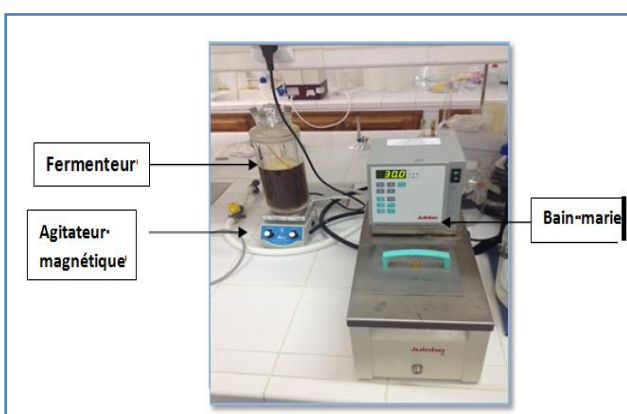


Figure A-I. Dispositif de fermentation.

Figure A-II. Ebulliomètre.

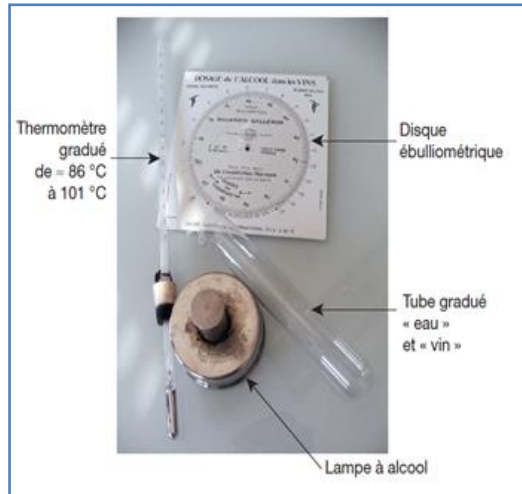


Figure A-III. Accessoires de l'ébulliomètre.

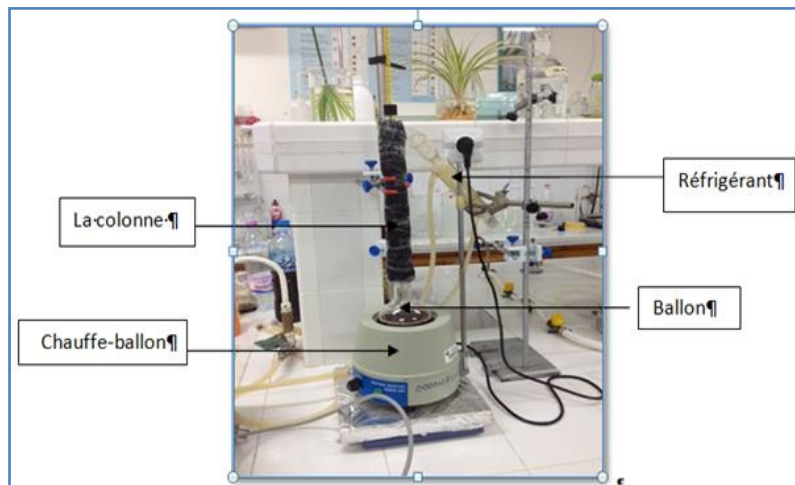


Figure A-IV. Dispositif de distillation

Tableau A-III. Paramètres d'utilisation du chromatographe.

Injecteur	
Température	220°C
Mode d'injection	Split 100/1
Colonne	
Type	hp-5MS
Dimensions	long : 30 m, diamètre intérieur : 0.25 mm, épaisseur du film : 0.25 µm
Phase stationnaire	5% Phenyl, 95% diméthylpolysiloxane
Température du four	40°C pendant 10 min, palier 15°C/min jusqu'à 220°C, isotherme pendant 10 min
Gaz vecteur	Hélium pureté N 6
Débit GV	0.5 ml/min

Tableau A-IV. Paramètres d'utilisation du détecteur de masse

Mode d'analyse	Scan (de 34 à 350)
Température de l'interface	280°C
Type d'ionisation	Impact électronique
Intensité du filament	70 ev
Type de l'analyseur de masse	Quadripôle
Température du quadripôle	150°C
Température de la source	230°C