

ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION D'ÉTHANOL BRUT À PARTIR DE TROIS VARIÉTÉS DE DATTES COMMUNES (DEGLA BEIDA, TACHERWIT ET HAMRAYA) REPARTIES DANS LES DIFFÉRENTES CLASSES DE DATTES (MOLLE, DEMI-MOLLE ET SÈCHE) DE LA CUVETTE DE OUARGLA (SAHARA SEPTENTRIONAL EST ALGÉRIEN)

OULD EL HADJ Mohamed Didi, CHEICK Mohamed, HAMDI Wassila, SAYAH Zineb et
BOUAZIZ Sabrina

Laboratoire de protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides

Université Kasdi Merbah-Ouargla, BP 511 Ouargla 30000 Algérie

E-mail: mohameddidid@yahoo.fr

Résumé- La production d'alcool brut à partir de trois variétés de dattes communes (Degla Beida, Tacherwit et Hamraya) réparties dans les trois classes de dattes (sèche, demi-molle et molle) de la cuvette de Ouargla, a été étudiée. La teneur en sucres totaux des moûts de ces différents cultivars est de $11,00 \pm 0,21\%$ de sucre pour Hamraya (datte molle), $11,3 \pm 0,12\%$ de sucre pour Tacherwit (datte demi molle) et $11,60 \pm 0,26\%$ de sucre pour Degla Beida (datte sèche). Après fermentation par la levure *Saccharomyces cerevisiae*, les moûts de ces cultivars des différentes classes biochimiques de dattes, titrent $7,8 \pm 1,3^\circ$ à $9,5 \pm 1,61^\circ$ d'alcool brut. Les rendements en alcool sont respectivement de $81,82 \pm 4,50\%$ pour la variété sèche, $71,30 \pm 2,97\%$ pour la variété demi molle et $70,90 \pm 3,69\%$ pour la variété molle. L'effet de la classe qui est fonction de la nature des sucres a une action notable sur l'évolution du rapport alcool brut produit/sucres consommés. Plus la datte est riche en saccharose plus sa productivité en alcool brut semble élevée.

Mots clés: Dattes communes, éthanol brut, *Saccharomyces cerevisiae*, moût, rendements.

COMPARATIVE STUDY OF THE PRODUCTION OF ROUGH ETHANOL STARTING FROM THREE VARIETIES OF COMMON DATES (DEGLA BEIDA, TACHERWIT AND HAMRAYA) LEFT AGAIN IN THE VARIOUS DATE CLASSES (SOFT, HALF-SOFT AND DRIES) OF THE BASIN OF OUARGLA (EAST SEPTENTRIONAL SAHARA ALGERIAN)

Abstract- The production of alcohol from the three varieties of common dates (Degla Beida, Tacherwit and Hamraya) divided according to three categories of dates (dry, semi-soft and soft) for the Ouargla basin has been studied. The total sugar amount of the must of these different cultivars is $11,00 \pm 0,21$ of sugar for Hamraya (soft), $11,3 \pm 0,12\%$ of sugar for Tacherwit (semi-soft) and $11,60 \pm 0,26\%$ of sugar for Degla Beida (dry). After fermentation through the yeast *Saccharomyces cerevisiae* these solutions titrate $7,8 \pm 1,3^\circ$ to $9,5 \pm 1,61^\circ$ of brut alcohol. The return in alcohol is respectively of $81,82 \pm 4,50\%$ for the dry variety, for the semi-soft variety and $70,90 \pm 3,69\%$ for the soft variety. The dates effect is fonction of the sugar nature wich have à notable action on the evolution of rapport coproduced alcohol consumed sugar. The more the date is rich of saccharose, the more it's but alcohol production is hight. Nevertheless, the griding dates during the preparation amount is indispensable for good yieldin alcohol.

Keys words: common dates, brut ethanol, *Sacchaomyces cerevisiae*, must, crops.

Introduction

Le potentiel phoenicicole algérien enregistre un accroissement important avec un effectif qui avoisine 15 millions de palmiers dattiers pour une superficie de plus de 350.000 ha; dont 11 millions productifs [1]. Pour une campagne déterminée, la production nationale peut atteindre 500.000 tonnes, dont 240.000 tonnes représentant environ 47% de Deglet Nour, considérée comme étant la meilleure variété de dattes commerciales, permettent à l'Algérie de se hisser au premier rang mondial du point de vue qualitatif; alors que près de 2600.000 tonnes soit 53%, sont de variétés dites communes [1,2]. Parmi ces derniers, 120.000 tonnes seulement sont commercialisables et plus de 14.000 tonnes sont de très faibles qualités marchandes [1,4]. L'importance économique de ces variétés communes, dont le nombre est estimé à 940 cultivars [5] se voit réduite. Elles sont marginalisées, si ce n'est complètement ignoré. Elles sont utilisées presque exclusivement comme aliment de bétail. La valorisation de ces 30% de la production annuelle de dattes de faible valeur marchande, ne peut avoir qu'un impact économique positif. L'Algérie importe 180.000 tonnes par an de mélasse de betterave sucrière, plus 130.000 tonnes de mélasse de canne, pour production de levure boulangère et d'alcool [3,6].

Les produits à base de dattes sont nombreux et diversifiés: le sucre liquide, les pâtes de dattes, les jus, les sirops, les boissons gazeuses, la confiserie, la pâtisserie, la biscuiterie, l'alcool, le vinaigre... Toutefois l'éthanol importé en quantité énorme et en devises étrangère à plus de 70% des besoins nationaux, reste le produit le plus important du point de vue impact économique. C'est un produit stratégique utilisé dans des secteurs variés telles que la chimie industrielle et l'industrie agro-alimentaire (matière première pour la fabrication de vinaigre).

En fermentation alcoolique, seuls les hexoses sont directement fermentescibles; les autres doivent d'abord être hydrolysés par l'intermédiaire des enzymes [7,8]. Les sucres constituent la principale composante des dattes. Ils sont diversifiés [9,10,11,12,13,14]. On distingue des sucres majeurs à savoir le saccharose, le glucose et le fructose; et des sucres mineurs, en très faible quantité, le galactose, l'arabinose et le xylose [13]. La nature des sucres varie en fonction de la consistance des dattes. Les variétés sèches renferment presque exclusivement du saccharose [15]. Par contre, les variétés molles sont très riches en sucres réducteurs et pauvres en saccharose. Les variétés demi-molles renferment, autant de saccharose que les sucres réducteurs. Face à ce constat, il est entrepris l'étude de la production d'alcool brut par bioconversion anaérobie à partir de trois types de classes de dattes (sèche, demi-molle et molle) réparties entre trois cultivars de dattes communes de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional Est algérien).

1.- Matériels et méthode

1.1.- Matériels

1.1.1.- Matériel végétal

Pour la présente étude, le choix a porté sur des variétés de dattes communes de faible valeur marchande, récoltées dans la cuvette de Ouargla située au Sahara septentrional

Est algérien. Les variétés choisies sont: Degla Beida, Techerwit et Hamraya. Le choix de ces variétés de dattes, a été orienté par leur disponibilité, leur abondance et leur appréciation pour la fabrication du vinaigre traditionnel. Bien que reparti entre les trois classes de dattes, ces variétés sont classées comme sous produits du palmier dattier, à cause de leur valeur marchande. Elles sont destinées essentiellement à l'alimentation du bétail et comme appoint alimentaire pendant les périodes de disette.

- Degla Beida: C'est une datte sèche de couleur jaune pâle, produite en grande quantité au Sud-Est. Elle n'est pas appréciée par les populations sahariennes.
- Techerwit: C'est une datte demi-molle, de couleur rouge foncé, destinée uniquement à la production du vinaigre traditionnel et à l'alimentation du bétail.
- Hamraya: De couleur rouge foncée, cette datte molle est connue aussi sous le nom de «Tzgart». Elle est très conseillée pour la production du vinaigre traditionnel.

1.1.2.- Matériel biologique

Le micro-organisme utilisé est la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* nommée «VDH₂». C'est une souche pure importée et utilisée par la levulerie d'Oued Smar à Alger (Algérie). La souche a été conservée sur gélose inclinée à 4°C. Pour permettre aux levures de garder leur vitalité, des repiquages sont effectués.

1.2.- Préparation du moût de datte

CLEMENT (1978) définit le moût comme étant un liquide sucré servant de matière première dans les industries de fermentation [16]. Pour la préparation des différents moûts, des opérations tel que le lavage, l'égouttage, le séchage, le dénoyautage et le broyage des dattes sont effectués. Les dattes ainsi traitées sont ensuite diluées à raison d'un kilogramme de pulpes pour quatre litres d'eau distillée chaude à 70° C. Cette macération dans l'eau chaude permet une meilleure extraction des sucres et un bon épuisement des pulpes. Le moût obtenu constitue le milieu de culture. Pour ne pas faire perdre au moût sa richesse en éléments nutritifs et en matière azotées, il n'a pas été filtré. Le développement de la levure et son pouvoir ferment sont influencés par toute une série de facteurs chimiques et physico-chimiques. A cet effet, les moûts des différents cultivars sont enrichis par les sels suivants dans les proportions indiquées :

- Sulfate de magnésium : 0,2 g/l
- Phosphate diammonique : 0,5 g/l
- Sulfate d'ammonium : 0,5 g/l
- Urée: 1 g/l

Le pH des différents milieux expérimentaux, est ajusté entre 4,3 et 4,5, par une solution d'acide sulfurique normale. Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures [17].

1.3.- Conduite de fermentation

1.3.1.- Préparation de l'inoculum

La souche entretenue sur milieu gélosé incliné doit être réactivée sur milieu de préculture identique aux milieux de culture. A l'aide d'une anse stérile, il est prélevé de la levure qui estensemencée dans un erlenmeyer d'une capacité d'un litre contenant 300 ml de

moût pour la préculture qui dure 18 heures à $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ dans les mêmes conditions que la fermentation.

1.3.2.- Conduite de la culture

Après tyndallisation réalisée au bain Marie des solutions mères, pour une stérilisation; les différents moûts sont inoculés à raison de 250 ml de préculture pour 4 litres. Puis la fermentation est conduite dans un fermenteur constitué d'un récipient en verre d'une capacité de 4,5 litres, plongé dans un bain Marie, afin de maintenir la température à $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ environ. Une agitation modérée du milieu est assurée grâce à un agitateur magnétique. La fermentation a été menée en anaérobiose et suivie pendant 72 heures. Toutefois, la fermentation est favorisée par le remontage qui consiste à pomper en surface le jus profond par agitation, afin de mélanger et d'aérer le moût.

Cette aération est nécessaire pour assurer une croissance convenable de la levure en aérobiose. Une molécule de glucose en aérobiose est dégradée en CO_2 en produisant 18 molécules d'ATP; en anaérobiose la fermentation d'une même quantité de sucre conduisant à l'éthanol, fournit 2 molécules d'ATP [7].

Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements d'une prise d'essai de 300 ml, en vue de déterminer l'évolution de la biomasse, de doser les sucres, l'alcool brut et suivre le pH au cours de la fermentation.

1.3.3.- Détermination de la biomasse

L'évolution de la biomasse au cours de la fermentation est suivie par comptage hématimétrique (cellule de Malassez) de la population microbienne sous microscope (grossissement x 10) [17].

1.4.- Techniques analytiques

1.4.1.- Dosage des sucres dans les moûts

- Sucres réducteurs

Les sucres réducteurs sont dosés par titrimétrie par la liqueur de fehling. Le principe de la méthode consiste à faire réagir un excès de solution cupro-alcaline sur les sucres. Ces derniers sont séparés par décantation de l'oxyde cuivreux puis traités par une solution de sulfate ferrique. La titration se fait à l'aide de permanganate de potassium (0,1 N) [18].

- Sucres totaux

Après hydrolyse acide à l'aide de l'acide chlorhydrique concentré pendant 12 minutes au bain-Marie à 70°C , le dosage des sucres est effectué par la méthode de Bertrand.

- Saccharose

Après le dosage des sucres totaux, le taux de saccharose est déduit suivant la formule:

$$\text{Saccharose} = (\text{sucre totaux} - \text{sucre réducteurs}) \times 0,95 \text{ [18]}$$

1.4.2.- Dosage de l'alcool brut

Le dosage de l'alcool au cours de la fermentation est effectué par aérométrie. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé puis à mesurer la densité du distillat à l'aide d'un alcoomètre à la température ambiante [19].

1.4.3.- Détermination du pH

La détermination du pH, est essentielle pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation. Sa variation, renseigne sur l'activité métabolique de la levure, donc sur la transformation des sucres en alcool. La détermination du pH s'effectue dans les conditions de la présente étude par une lecture directe à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné.

1.4.4.- Dosage des protéines des moûts

La teneur en azote total du moût est déterminée par la méthode de Kjeldahl.

1.4.5.- Détermination des cendres des moûts

Les cendres totales sont déterminées par incinération. Un étuvage à 105°C pendant 24 heures des échantillons, est suivi par une calcination au four à moufle (1 heure à 600°C environ).

2.- Résultats et discussion

2.1.- Composition physico-chimique des moûts

La composition moyenne des milieux de cultures obtenus après trois essais, pour chaque variété de dattes sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition physico-chimiques des différents moûts

Variétés Caractères	Techerwit	Degla Beida	Hamraya
Ph	5,65±0,17	5,18±0,28	5,20±0,14
Cendre (%)	0,40±0,11	0,42±0,08	0,45±0,03
Sucres totaux (%)	11,36±0,12	11,61±0,26	11,00±0,21
Sucres réducteurs (%)	8,12±0,83	5,39±1,14	9,77±1,15
Saccharose (%)	3,18±1,48	6,21±1,21	1,23±1,08
Protéines (%)	0,48±0,13	0,53±0,08	0,67±0,04

Le pH des différents milieux varie de 5,18±0,28 à 5,65±0,17. DOWSON et ATEN (1963), notent que le pH des dattes serait de 5,5 [20]. RYGG (1977), associe à une datte de bonne qualité un pH voisin de 6 et à une datte de mauvaise qualité un pH inférieur à 5 [21].

La teneur moyenne en sucres totaux des moûts des trois cultivars, va de $11,00 \pm 0,21\%$ pour Hamraya à $11,61 \pm 1,26\%$ pour Degla Beida. Le tableau 1 laisse apparaître que la nature des sucres dans les milieux de culture est en relation étroite avec les classes de dattes. Degla Beida qui est une datte sèche, renferme plus de saccharose ($6,21 \pm 1,21\%$), alors la datte molle Hamraya est très riche en sucres réducteurs ($9,77 \pm 1,15\%$) et pauvres en disaccharides ($1,23 \pm 1,08\%$). Mais les teneurs en protéines des moûts sont faibles. Ces taux de protéines bien que faible ne sont pas négligeables comme source de matières azotées après hydrolyse. Des auteurs tels que MAALALLAH (1970), AL ASWAD (1983), ALOGAIDI (1987), signalent que les protéines de dattes sont qualitativement bien équilibrées [9,22,23].

Le pourcentage des cendres ne dépasse pas les $0,45 \pm 0,03\%$. Néanmoins les paramètres qui renseignent sur l'évolution de la fermentation demeurent essentiellement: la production de biomasse, l'assimilation des sucres et la production d'éthanol.

2.2.- Fermentation

La fermentation se déroule en milieu non renouvelé. La croissance de *Saccharomyces cerevisiae* peut être limitée par l'accumulation de substances toxiques [24]. SASSON (1986) signale que les acides gras, en particulier l'acide octanoïque et l'acide decanoïque, formés par les levures à la concentration de quelques milligrammes par litre, deviennent toxiques pour la levure [25]. Pour remédier à ce phénomène, une pincée de charbon était additionnée aux moûts avant ensemencement pour faciliter la reprise de la fermentation.

Après 72 heures de fermentation des moûts, une dégradation remarquable des sucres est relevée. Les sucres résiduels à la fin de la fermentation sont sous forme de traces. Cette bioconversion était surtout active les premières 24 heures, pour la variété sèche Degla Beida où plus de 5% des sucres ont été convertis (fig. 1).

MAATALLAH (1970) suggère 7 jours pour une fermentation totale [9], alors que BOUGHNOU (1988) évoque trois à quatre jours [6]. Le temps de fermentation obtenu pour les trois moûts, est proche de celui préconisé par ELOGAIDI (1987) soit entre 36 à 72 heures [23].

La figure 1 montre de façon remarquable que la cinétique de production d'alcool brut pour la variété Degla Beida est meilleure que celles des trois autres variétés. L'effet de la nature des sucres sur l'évolution du rapport alcool/sucres consommés a été remarquable. Le degré alcoolique obtenu à la fin de la fermentation est de $9,5^\circ$ dans le moût de Degla Beida, est légèrement supérieur à celui des deux autres variétés n'excédant pas $8,1^\circ$ (fig. 1). ELOGAIDI (1987) a obtenu des degrés alcooliques allant de 13 et 15° , sur des milieux concentrés en sucres (22%) [23]. Toutefois, DOUGLAS et SACHINE cité par MAATALLAH (1970), avec des milieux très concentrés en sucres de 22 à 25%, n'ont obtenu des moûts titrant 11 à 13° d'alcool [9].

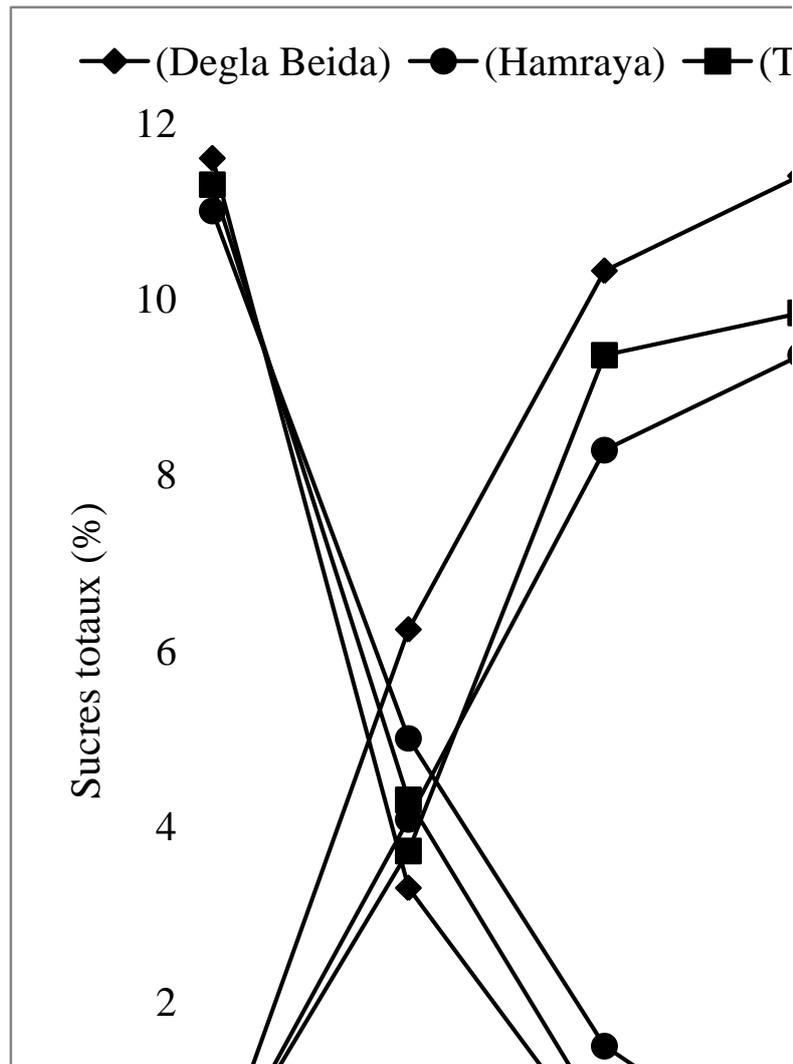


Figure 1.- Evolution de l'assimilation des sucres et de la production d'alcool brut par *S. cerevisiae* selon la classe biochimique de la datte

Au cours de la fermentation, la biomasse évolue normalement, et se développe progressivement pendant les premières 48 heures puis décroît durant les derniers 72 heures (fig. 2). A cette phase, on note une décroissance de la masse de cellules du fait de l'épuisement des nutriments dans les milieux. Les rendements calculés en alcool brut produit sur les sucres consommés correspondant à chaque cultivar, donnent $81,82 \pm 4,50\%$ pour la variété Degla Beida (datte sèche), $71,30 \pm 2,97\%$ pour la variété Tacherwit (datte demi-molle) et $70,90 \pm 3,69\%$ pour la variété Hamraya (datte molle). Ces rendements sont supérieurs à ceux obtenus par BOUGHNOU (1988), NADHIM (1982) et, NONU et MINNIAL (1988) qui avoisinent les 55% [6, 19, 8]. De leur côté MAIORELLA (1985) et GABRIEL (1985) suggèrent des rendements respectivement de 51% et 46% [26, 27]. Ceux-ci peuvent s'expliquer par le fait que la souche de levure utilisée pour la présente étude semble plus performante. Parallèlement, outre les conditions de fermentation, d'autres facteurs tel que le pouvoir des levures de continuer à fermenter les sucres même en phase de déclin, a favorisé le rendement (fig.1 et 2).

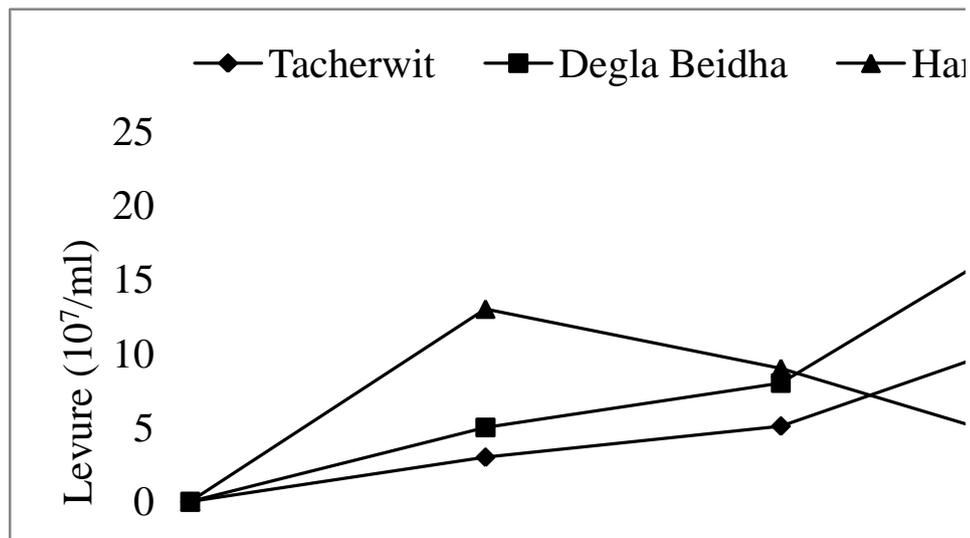


Figure 2.- Evolution de la biomasse en fonction du temps

Conclusion

Le moût de datte de par sa composition biochimique et son enrichissement en certains sels, permet en sucres facilement fermentescibles, la technique d'élaboration du moût, de la performance de la souche de levure utilisée et l'enrichissement du milieu, ont permis une assimilation des sucres en 72 heures. Pour optimiser la production d'éthanol, la filtration du moût est à éviter. Cette opération fait perdre au moût ses protéines et les éléments nutritifs indispensables pour la croissance des levures. Par contre le broyage des pulpes, s'avère indispensable pour obtenir une extraction poussée et des rendements élevés. Toutefois la nature des sucres a une action notable sur le rendement en alcool brut.

Les dattes communes de faible valeur marchande demeurent un substrat de choix pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'alcool industriel. Compte tenu de la simplicité du procédé, une telle industrie doit être mise en place dans les régions phoenicicoles, car elle permet certainement de limiter en partie l'érosion génétique dont souffre la palmeraie algérienne.

Références bibliographiques

- [1].- Saouli N., 2005.- Préambule du recueil des résumés. Journées d'étude sur la transformation des produits du palmier dattier, Biskra, les 6 et 7 décembre: 1-2.
- [2].- Feliachi S., 2005.- La transformation des produits du palmier dattier: potentiel et atouts-problématique-opportunités-thématique. Journées d'étude sur la transformation des produits du palmier dattier, Biskra, les 6 et 7 décembre, 18 p.
- [3].- OND, 1992.- Transformation et valorisation des dattes et sous produits des dattes. Recueil des recommandations, symposium de la datte, Biskra, les 24-25 Novembre: 65-69.
- [4].- Touzi A., 2005.- Production de substances à forte valeur ajoutée à partir des produits de la palmeraie algérienne. Journées d'étude sur la transformation des produits du palmier dattier, Biskra, les 6 et 7 décembre 2005: 6-7.

- [5].- Hannachi S., Khitri D., Benkhalifa A., Brac De La Perrière R. A., 1998.- Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ed. Anep, Rouïba: 12-13.
- [6].- Boughnou N., 1988.- Essai de production de vinaigre à partir des déchets de dattes. Thèse Magister, INA, El Harrach, Alger: 40-50.
- [7].- Leclerc H., Buttiaux R., Guillaume J. et Watre P., 1977.- Microbiologie appliquée. Ed. Doin, Paris VI : 177-180.
- [8].- Nonus M., Minnial M. M., 1988.- Gain de productivité d'éthanol en fermentation alcoolique des produits de sucrerie. IAAT, Paris : 231-346.
- [9].- Maatallah S., 1970.- Contribution à la valorisation de la datte algérienne. Thèse ing. d'Etat, INA, El Harrach, Alger, 63 p.
- [10].- Munier P., 1973. Le palmier dattier. Techniques agricoles et productions tropicales. Ed. Larousse, Paris: 145-178.
- [11].- 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.
- [12].- Shubbar R., 1981.- Sugar extraction from dates. Formely with regiproject for palm and dates. Research centre in the near East and Nord Africa date palm, N°5: 61-78.
- [13].- Sawaya W. N., Khalil J. K., Khatcha-Dourian H. A., Safi W. et Mashadi A. S., 1983.- Sugars, tannins and some vitamins contents of twenty five date cultivars grown in Saudi Arabia at the khalal (nature color) and tamer (ripe) stages. The first symposium on the date palm. King Fayçal University Al Hassan Kigdom of Saudi Arabia: 468-478.
- [14].- Azzouz A., Dehbaoui B., 1992.- Analyse des glucides par CCM et HPLC. Application à l'étude des miels et de dattes. Thèse ing., USTHB, Alger, 143 p.
- [15].- Khateb A. G. H., El Tinay A. H., Nour A. A. M., 1983.- The chimical composition of some date palm cultivars grown in Sudan. The first symposium on the date palm. King Fayçal University Al Hassan Kigdom of Saudi Arabia: 706-710.
- [16].- Clement J. M., 1978.- Dictionnaires des industries alimentaires. Ed. Masson, Paris : 108-261.
- [17].- Guiraud H. et Galzi P., 1980.- Analyses microbiologiques dans les industries agro-alimentaires. Ed. Usine nouvelle, Paris : 70-90.
- [18].- Audigie C., Figiralla J., Zonszain F., 1980.- Manuel d'analyses biochimiques. Ed. Doin, Paris, 270 p.
- [19].- Nadhim D. J., 1982.- Production d'éthanol à partir des sucres de dattes. Séminaire sur les dattes, 4-5 décembre 1982, Bagdad: 115-130.

- [20].- Dawson W. H. et Aten H., 1963.- Récolte et conditionnement des dattes. FAO, Rome, 334 p.
- [21].- Rygg G., 1977.- Date development handling and packing in the United States agriculture. Research service agriculture, Hand book, N°482 : 28-29.
- [22].- Al Aswad M. B., 1970.- The amino acids content of some Iraqi date. J. Foo Sci., 36: 1019-1025.
- [23].- Alogaidi H. K. H., 1987.- Dates and microbial biotechnology. Regional project for palm and dates research center in the Near Est and Nord Africa. Al Watan printig press Co, Libana: 301-318.
- [24].- Meyer A., 1988.- Cours de microbiologie générale. Ed. Doin, Paris, 333 p.
- [25].- Sasson A., 1986.- Nourrir demain les hommes. Ed. UNESCO, Pays Bas, 765 p.
- [26].- Maiorelle B. L., 1985.- Ethanol comprehensive biotechnology, the principal application and regulation of biotechnology in industry, agriculture and medecine. Ed. Perganon press., vol. 3, Paris : 816-900.
- [27].- Gabriel H., 1985.- Les carburants de substitution. La recherche, N° 175: 376-384.