

UNIVERSITE DE OUARGLA
Faculté des Sciences de La Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques

nnée : 2014-/2015

N° d'enregistrement :

/...../...../...../...../



THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat
en Sciences Biologiques

Développement de produits diététiques hypoglycémiants
à base de dattes molles variété «Ghars», la plus
répandue dans la cuvette de Ouargla

Présentée et soutenue publiquement

Par : MIMOUNI Yamina

Le : 26/02/2015

Devant le jury composé de :

OUL ELHADJ M. Didi	Professeur	Université de Ouargla	Président
SIBOUKEUR Oumelkheir	Professeur	Université de Ouargla	Promotrice
FERRADJI Ali	Professeur	E. N. S.A. El-Harrach	Rapporteur
BENCHABANE Ahmed	Professeur	E. N. S.A. El-Harrach	Rapporteur
BENAZIZA Abdelaziz	Maitre de Conférences A	Université de Biskra	Rapporteur
BABAHANI Souad	Maitre de Conférences A	Université de Ouargla	Rapporteur

Remerciements

Mes remerciements les plus profonds et inexprimables, s'adressent avant tout au 'Tout Puissant » ALLAH pour m'avoir guidée tout au long de ce travail.

Une profonde gratitude est ensuite adressée à ma Directrice de Recherche, Professeure SIBOUKEUR Oumelkheir pour avoir proposé et dirigé cette thèse. Je la remercie pour ses conseils, ses orientations et sa patience tout au long du déroulement de mes investigations.

C'est avec un immense plaisir, que j'adresse mes remerciements à Monsieur Le Professeur OULD ELHADJ Mohamed Didi du Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ouargla pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury.

Que Messieurs les Professeurs, FERRADJI Ali et BENCHABANE Ahmed, du Département de Technologie Alimentaire, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie EL-Harrach- Alger, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour avoir accepté de porter un jugement à ce modeste travail.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à Monsieur BENAZIZA Abdelaziz, Maitre de Conférences classe A du Département des Sciences Agronomiques, Université de Biskra pour avoir accepté de faire parti de ce jury.

Je ne saurai oublier Madame BABAHANI Souad, Maitre de Conférences classe A du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Ouargla, pour son accord à porter un jugement à ce travail.

Je tiens particulièrement à témoigner mon respect et ma gratitude au Professeure BISSATI Samia, DOYENNE de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Ouargla, pour ses encouragements et ses conseils combien précieux.

L'occasion m'est donnée ici pour exprimer ma gratitude à Monsieur le Professeur CHEHMA Abdelmadjid, Directeur du Laboratoire de Recherche « Bioressouces Sahariennes, Préservation et Valorisation pour m'avoir permis de réaliser certaines manipulations au sein de son laboratoire.

Je tiens à présenter mes remerciements à Mesdames CHAOUCH Saida et BAYOUSSEF Zahia, Maitres de Conférences B et à Monsieur EDDOUD Amar, Maitre assistant A, relevant du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Ouargla ainsi qu'à Monsieur MERBET Ismaïl " Maitre de Conférences B, pour leur patience et leur assistance dans le traitement des résultats.

Mes remerciements vont également à tout le personnel technique du "laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides" Université de Ouargla à savoir : Madame IDDER Messaouda, Mademoiselle BOUGHABA Latifa et Messieurs, IDDER Abdelhak et SAADDINE Salah-Eddine et celui du laboratoire pédagogique, en particulier Monsieur BEGGARI El Aich, Départements des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla , sans oublier le personnel de la bibliothèque de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Ouargla .

Il m'est également agréable de remercier les membres de la société étatique " Algérienne des eaux de Ouargla " : Madame Kateb leila, BOUBLAL Nachida et CHIBANI Aicha pour leur précieuse aide.

Mes chaleureux remerciements s'adressent aussi, à tout le personnel du laboratoire de "l'hôpital Mohamed BOUDIAF" de Ouargla, particulièrement Messieurs, DADAMOUSA Khemis, BOUMELKEL et BAHJ.

Que Messieurs MIMOUNI El Hadj et MIMOUNI Brahim soient convaincus de mon éternelle gratitude envers eux pour le soutien matériel et surtout moral qu'ils ont bien voulu m'accorder. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère et profonde reconnaissance.

Enfin, je tiens à remercier, tout ceux et celles qui ont apporté aide ou soutien, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail, particulièrement Madame la Professeure OULD EL HADJ-KHEILIL Aminata et Messieurs IDDER Mohamed Tahar, Maitre assistant classe A et BOUAL Zakaria Maitre assistant classe B, relevant du Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Ouargla.

Dédicace

Cette thèse est dédiée à :

-mes chers parents ;

-mes frères Brahim et El Hadj ;

- mes sœurs Hadja, Samira, Karima et Fatma ;

- mes neveux Abdelkader, Hamza, Imad et Salah ;

- mes amies Leïla, Nadia, Fatma, Meriem et Zineb.

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau I	Production des principales variétés des dattes algériennes	06
Tableau II	Classification des dattes selon leur consistance	07
Tableau III	Rapport en poids : noyau/datte entière de quelques variétés de dattes	08
Tableau IV	Teneur en eau de quelques variétés de dattes algériennes	09
Tableau V	Teneur en éléments minéraux des dattes	11
Tableau VI	Vitamines de la datte en mg/100g de dattes	12
Tableau VII	Composition biochimique du sirop de dates	17
Tableau VIII	Produits alimentaires à base de spiruline	30
Tableau IX	Caractérisation morphologique des dattes	53
Tableau X	Teneur de quelques éléments minéraux des trois variétés de dattes (mg/100g) de pulpe fraîche	58
Tableau XI	Indices biologiques des volontaires	62
Tableau XII	Teneur en éléments minéraux (mg pour 100 g de sirop brut) des trois variétés	78
Tableau XIII	Caractérisation physico-chimique du SBDG et HFCS de la 1 ^{ère} génération	86
Tableau XIV	Teneur en éléments minéraux (mg pour 100 g du SBDG)	86
Tableau XV	Composition glucidique du SBDG	87
Tableau XVI	Indices biologiques des volontaires	97
Tableau XVII	Analyses microbiologiques du sirop à l'état frais et après stockage	104
Tableau XVIII	Description de colonies isolées à partir du sirop de dattes en milieu OGA	106

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 01	Métabolisme du fructose	20
Figure 02	Préparation des sirops à haute teneur en fructose	23
Figure 03	Homéostasie glucidique	25
Figure 04	Méthode d'échantillonnage	37
Figure 05	Procédure expérimentale	39
Figure 06	Illustration du calcul d'une aire sous la courbe (ASC) de réponse glycémique	46
Figure 07	Taille et diamètre des trois variétés de dattes	54
Figure 08	Poids du fruit, de la pulpe et de la graine des trois variétés	54
Figure 09	Rapports noyau /datte et pulpe /datte des trois variétés	54
Figure 10	pH et conductivité électrique des trois variétés de dattes	56
Figure 11	Teneur en eau, teneur en Matière sèche et teneur en cendres des dattes	57
Figure 12	Paramètres biochimiques des trois variétés de dattes	61
Figure 13	Evolution de la glycémie (g/l) après ingestion de l'aliment de référence (glucose) et les dattes des quatre variétés testées (A. Ghars, B. Deglet Nour, C. Degla Beida et D. Addela)	63
Figure 14	Glycémie post prandiale provoquée par ingestion de l'aliment de référence et des dattes des quatre variétés testées	66
Figure15	Aires sous la courbe des quatre variétés testées	67
Figure16	Index glycémiques des variétés testées	68
Figure17	Rendements en sirops des trois variétés de dattes	73
Figure 18	Paramètre physico-chimiques : pH, conductivité et densité des sirops de dattes	74
Figure19	Paramètres physico-chimiques : Teneur en eau, en matière sèche, en cendres et °Brix des sirops bruts de dattes	77
Figure 20	Caractéristiques biochimiques des sirops bruts de dattes	81
Figure 21	Evolution de la glycémie en (g /l) après ingestion de l'aliment de référence (glucose) et du SBDG (sirop): Pic hyper-glycémique et Glycémie Postprandiale	83
Figure 22	Evolution de la glycémie post-prandiale (g/l), après ingestion de l'aliment de référence (glucose) ; Sirop brut de dattes Ghars (SBDG) ; fraction non cristallisée (SDHF)	95
Figure 23	Evolution de la glycémie en (g/l) postprandiale, après ingestion de l'aliment de référence (Glucose), A : Sirop de dattes (SDBG) B : Sirop +1% de spiruline (SDGC _{1%}), C : Sirop + 2% de spiruline (SDGC _{2%})	99
Figure 24	Valeur moyenne des aires sous la courbe	100
Figure 25	Index glycémique du SBDG et des SDGC	101
Figure 26	Charge glycémique du SBDG et des SDGC	102

Liste des Annexes

Figures	Titre	Page
Annexe 01	Dosage des chlorures	129
Annexe 02	Chromatographie sur couche mince des sucres (CCM)	130
Annexe 03	Dosage des sucres totaux, sucres réducteurs, saccharose (Méthode de BERTRAND)	132
Annexe 04	Dosage des pectines	133
Annexe 05	Fiche des informations	134
Annexe 06	Aliment de référence et aliment test	145
Annexe 07	Evolution de la glycémie après ingestion des dattes pour chaque volontaire	136
Annexe 08	Caractéristiques cliniques des sujets	141
Annexe 09	Evolution de la glycémie chez les six volontaires après de l'aliment de référence et aliments tests (SBDG, SDGC _{1%} et SDGC _{2%})	141
Annexe 10	Analyse de variance: un facteur	142

Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photo 01	<i>Phoenix dactylifera L</i>	4
Photo 02	Dattes : A. Ghars, B. Deglet Nour, C. Addela et D. Degla Beida	33
Photo 03	Poudre de spiruline	33
Photo 04	Formules alimentaires préparées	51
Photo 05	Aspect du sirop de dattes : A. Ghars B. Deglet Nour C. Degla Beida	71
Photo 06	Sirop brut de dattes variété Ghars : A – Extraction par diffusion ; B – aspect avant condensation ; C- aspect après condensation	85
Photo 07	Chromatogramme des sucres du sirop brut de dattes (Ghars)	87
Photo 08	A : Aspect du SBDG au début du stockage ; B : Aspect après cristallisation ; C : fraction cristallisée ; D : fraction non cristallisée	90
Photo 09	Chromatogramme des deux fractions du sirop de dattes	91
Photo 10	Chromatogramme bidimensionnel de la fraction non cristallisée.	92
Photo 11	Aspect et taille des cristaux de glucose	92
Photo 12	Caractérisation des germes totaux, les levures et les moisissures dans le sirop frais et stocké	105
Photo 13	Observation macroscopique de colonies développées sur milieu OGA pour le sirop stocké	105
Photo 14	Observation microscopique de colonies développées sur milieu OGA pour le sirop (x 400)	109

Résumé

Les dattes, fruits du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*), très exploitées en Afrique méditerranéenne, en particulier dans le Sud algérien, constituent un aliment fondamental disponible durant toutes les saisons, et ce de par sa richesse en différents éléments nutritifs.

L'objectif principal de ce travail vise l'élaboration de sirops diététiques, hypoglycémiants à base de dattes. Pour ce faire, nous avons procédé dans un premier temps à la détermination de l'index glycémique (IG) de quatre variétés de dattes les plus répandues dans le Sud-est algérien : Ghars (molle), Deglet Nour et Addela (demi molles) et Degla Beida (sèche), l'IG étant une notion récemment adoptée pour classer les aliments glucidiques. Nous avons alors fait appel à 41 volontaires non diabétiques. La méthode utilisée consiste à suivre l'évolution de la glycémie à jeun de ces derniers après la prise de l'aliment test (dattes) et celle de l'aliment de référence (glucose), par des prélèvements sanguins capillaires toutes les 15 min, puis toutes les 30 min, durant 120 min. Ces dattes ont servi par la suite à la production de sirop par diffusion dans de l'eau maintenue à 80°C pendant 24 heures, suivie d'une concentration à 60°C jusqu'à obtention d'un sirop à 75°Brix environ. Les dattes de la variété Ghars ont permis de donner un meilleur rendement d'extraction (47% versus 40.98 % et 18.82% pour la DN et la DB). Le sirop brut de dattes Ghars (SBDG) obtenu, présente une composition glucidique proche de celle des sirops à haute teneur en fructose de 1^{ère} génération (ou HFCS 42% fructose), issus de l'amidonnerie puisque sa teneur en fructose est égale à 39.10%. La composition du SBDG a été ensuite rapprochée de celle des HFCS de 2^{ème} génération (fructose 55%) voire même de 3^{ème} génération (fructose 90%), par une technique simple qui consiste en la cristallisation du glucose suite à un stockage du sirop à 4°C, durant une période excédant 70 jours. Le taux de fructose de ce dérivé a alors atteint 78% et celui du glucose 1.8%, ce qui justifie l'appellation que nous lui avons attribuée à savoir « Sirop de dattes à haute teneur en fructose » (SDHF). Des CCM mono et bidimensionnelle, ont permis de mettre en évidence la pureté de la fraction fructose. L'IG de cette dernière égal à 34 conforte les résultats obtenus. Par ailleurs, l'addition de spiruline comme complément protéinique à raison de 1 et 2% a permis de faire baisser l'IG du sirop brut de dattes Ghars (SBDG) et de donner naissance à 2 nouveaux dérivés que nous avons dénommés « Sirop de Dattes Ghars Complémenté » (SDGC_{1%} et le SDGC_{2%}). Les résultats montrent des pics hyperglycémiques post prandiaux moins élevés comparativement à celui obtenu avec le témoin (SBDG) soit 1.08 g/l et 1,05 g/l respectivement dans le cas le SDGC_{1%} et le SDGC_{2%} contre 1.55 g /l. Concernant les valeurs de leur IG respectifs, elles sont égales à 56.03 et 55.22 contre 61.51 pour le SBDG.

Les valeurs de la charge glycémique sont respectivement égales à 19.72 ± 4.48 et 20.01 ± 4.65 pour le SDGC_{1%} et le SDGC_{2%} (contre 21.96 ± 4.71 dans le cas du SBDG). Ces résultats nous permettent de caractériser les sirops élaborés expérimentalement de produits hypoglycémiants.

Enfin, l'analyse microbiologique de ces sirops de dattes met en évidence une bonne qualité hygiénique à l'état frais et même après une année au moins de stockage.

Mots clés : dattes, sirop, Index glycémique, fructose, spiruline, diabète

Abstract

Dates, fruits of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.), highly consumed in Saharan Africa, especially in southern Algeria, and are an essential nutritional source consumed all year around due to its wealth in nutrients.

The main objective of this work is to develop dietary low-glycemic index syrups from dates. To this effect the work started with determining the glycemic index (GI) of a number of date fruits available in Southeast Algeria: Ghars (soft) and Deglet Nour Addela (half soft) and Degla Beida (dry). The GI is a concept recently adopted for classifying carbohydrate foods. Forty one healthy volunteers were involved in the determination of GI. For these volunteers blood glucose levels were monitored during 120 minutes after the ingestion of a reference food (glucose) or the test food. These dates were used subsequently for the production of syrups by diffusion method. Samples were maintained in water at 80 °C for 24 hours, followed by concentration at 60 °C until syrup at 75°Brix is achieved. Dates of the Ghars varieties which have the highest extraction yield (47% compared to 40.98% and 18.82% for the Deglet Nour and Degla Beida, respectively), were selected for further investigations. The crude date syrup Ghars (CDSG) obtained has a composition similar to that 1st generation carbohydrate high fructose corn syrups (42% fructose or HFCS) from starch as its fructose content is 39.10 %. CDSG composition was then compared with that of the second generation of HFCS (55% fructose) or even third generation (90% fructose), by a simple technique which involves the crystallization of the glucose after storage of syrup at 4°C for a period exceeding 70 days. Fructose in this derivative reached 78% with only 1.8% glucose. This derivative was named high fructose date syrup (HFDS). Mono and two-dimensional TLC confirmed the elevated fructose content. The calculated GI of HFDS was 34. Furthermore, the addition of *Spirulina* as a protein supplement at 1% and 2% lowered the GI of CDSG and gave birth to two new derivatives named "Supplemented Dates Syrup Ghars "(SDSG 1% and 2%). The results show prandial peaks lower compared to that obtained with the original syrup (CDSG, 1.55 g/l) with 1.08 g/l and 1.05 g/l for the, respectively. The glycemic indices followed the same pattern with 56.03, 55.22 and 61.51 for SDSG 1%, SDSG 2% and CDSG, respectively. The glycemic load values are equal to 19.72 ± 4.48 and $20.01 \pm 4.65\%$ for the SDSG1 and SDSG 2% (versus 21.96 ± 4.71 in the case of CDSG). These results allow us to characterize these syrups developed experimentally as hypoglycemic products.

Finally, the microbiological analysis of these date syrups shows a good hygienic quality as fresh syrups and after at least one year of storage.

Keywords : dates, syrup, glycemic index, fructose, spirulina diabetes

المخلص

تعتبر ثمار نخيل التمر (*Phoenix dactylifera L*) من أشهر المنتوجات الزراعية التي تشغل كثافة عالية في شمال أفريقيا، وبالأخص في جنوب الجزائر، وتمثل هذه الثمار الغذاء الأساسي متوفر في جميع المواسم. تعرف ثمار نخيل التمر باحتوائها على مختلف المواد الغذائية.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تطوير منتجات الحمية (تنظيم السكر في الدم) وذلك بتصنيع الشراب انطلاقا من هذه الثمار. في البداية، اخترنا أربعة أصناف مختلفة من التمور لتحديد مؤشر نسبة السكر في الدم، والمتواجدة على نطاق واسع إلى حد ما في واحات جنوب شرق الجزائر: الغرس (رطب)، دقلة نور و الدالة (نصف رطب)، دقلة بيضاء (جاف). لتحديد مؤشر نسبة السكر أقل في الدم (*Index glycémique*)، استدعينا 41 فرد متطوع غير المصابين بالسكري. والطريقة المستخدمة لرصد التغيرات في مستوى السكر في حالة الصيام للمتطوعين، تتمثل في تناول الطعام الاختباري (لتمر) والطعام المرجعي (الجلوكوز)، بعد اخذ عينات من الدم. كما تم استخدام هذه الثمار في تصنيع الشراب عن طريق الانتشار في درجة مئوية 80° لمدة 24 ساعة يليها تركيزه في 60م° إلى غاية الحصول على الشراب ذو تركيز 75 بريكس. أعطت ثمار من صنف غرس مردود جيد من هذا المشروب (47 % مقابل 40.98 % و 18.82 % دقلة نور و دقلة بيضاء على التوالي) لهذا تم اختيارها لمواصلة هذا البحث. التركيبة البيوكيميائية لشراب التمر الخام من غرس (ش ت خ غ) تبدو اقرب لشراب الذرة الغني بالفركتوز من الجيل الأول (42 % فركتوز) وذلك لاحتوائها على 39.10 % فركتوز. كما تم تقريب التركيبة البيوكيميائية لشراب (ش ت خ غ) لتركيبة شراب الذرة من الجيل الثاني (55 % فركتوز) أو الثالث (90 % فركتوز) وذلك تم بعد اخضع الجلوكوز للبلورة لمدة أكثر من 72 يوم في درجة حرارة 4م°. شهد ارتفاع نسبة الفركتوز في هذا الأخير 78 % بينما كانت انخفضت نسبة الجلوكوز فيه إلى 1.8 %، وهذا مما يبرهن التسمية التي اطلقتها على لهذا المشروب " شراب التمر غني بالفركتوز" (ش ت خ غ). بواسطة الكروماتوغرافيا احادية و ثنائية الأبعاد تم معرفة مدى نقاوة الفركتوز. كان التأكيد على النتائج السابقة بقياس مؤشر نسبة السكر لهذا الأخير الذي قدرة ب 34. ومن جهة أخرى كان اضافة مصدر غني بالبروتين 1 % إلى 2 % (سبرولينا) سبب في انخفاض مؤشر نسبة السكر في (ش ت خ غ) مما سمح الحصول على منتوجين جديدين " شراب التمر غرس مضاف اليه" (ش ت غ م 1 % و ش ت غ م 2 %). النتائج المتحصل عليها بينت بأن ذروة منحنى فرط سكر الدم ل (ش ت خ غ) كانت اكبر 1.55 غ/ل مقارنة ب ش ت غ م 1 % (1.08 غ/ل) و ش ت غ م 2 % (1.05 غ/ل). اما فيما يخص مؤشر نسبة السكر فمان 61.51 و 56.03 و 55.22 على التوالي بالنسبة ل ش ت خ غ، ش ت غ م 1 % و ش ت غ م 2 %. أما فيما يخص تحميل نسبة السكر في الدم فكانت 20,01 ± 4.65، 21,96 ± 4.71 و 19,72 ± 4,48 على التوالي بالنسبة ل ش ت خ غ، ش ت غ م 1 % و ش ت غ م 2 %.

من خلال هذه النتائج يمكن لنا تصنيف المشروبات المتحصل عليها ضمن الأغذية التي تساهم في انخفاض السكر الدم.

و في الأخير تم إخضاع شراب التمر الخام من غرس للدراسة الميكروبيولوجية قبل وبعد التخزين لمدة سنة. النتائج المتحصل عليها بينت بأن هذا الشراب ذو الجودة الصحية عالية قبل و بعد التخزين.

الكلمات الدالة: اليمر ، شراب ، مؤشر نسبة السكر في الدم ، الفركتوز ، سبرولينا ، مرض السكر

Table des matières

Table des matières

Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Table des matières	
Introduction	01
I-Synthèse bibliographique	
1.1. Palmier dattier (<i>Phoenix dactylifera</i> , L.)	04
1.1.1. Généralités sur le palmier dattier	04
1.1.2. Production des principales variétés en Algérie	05
1.2. Datte	05
1.2.1. Classification des dattes	05
1.2.1.1. Deglet Nour	07
1.2.1.2. Dattes communes	07
1.2.1.3. Dattes secondaires	07
1.2.2. Constitution du fruit	08
1.2.3. Rapport noyau / datte entière	08
1.2.4. Composition biochimique de la pulpe de dattes	08
1.2.5. Utilisation de la datte dans la pharmacopée traditionnelle	12
1.2.6. Technologie de la datte	12
1.2.7. Transformation locale des dattes communes	13
1.2.7.1. Transformation par voie biotechnologique	13
1.2.7.2. Transformation par voie technologique	14
1.2.7.2.1. Pâte de dattes	14
1.2.7.2.2. Farine de dattes	14
1.2.7.2.3. Autres produits : Sirops	14
1.3. Sirops de dattes	15
1.3.1. Situation dans le monde	15
1.3.2. Situation en Algérie	15
1.3.3. Procédés d'élaboration des sirops de dattes	16
1.3.3.1. Procédé par pressurage	16
1.3.3.2. Procédé par cuisson à basse température dans l'eau	16
1.3.3.3. Procédé par cuisson à haute température dans l'eau	16
1.3.3.4. Procédé par diffusion	17
1.3.4. Principales caractéristiques des sirops de dattes	17
1.3.4.1. Qualité organoleptique	18
1.3.4.2. Qualité nutritive	18
1.3.4.3. Propriétés physico-chimiques	18
1.3.4.4. Particularités diététiques des sirops de dattes en comparaison avec d'autres édulcorants	19

1.3.4.4.1. Comparaison des sirops de dattes avec les sirops à haute teneur en fructose (HFCS)	21
1.3.4.4.1.1. Composition physico-chimique et biochimique des HFCS	21
1.3.4.4.1.2. Préparation des HFCS	22
1.3.4.4.2. Effet du fructose des HFCS sur la santé	23
1.3.4.4.3. Effet du fructose natif des fruits	24
1.3.4.4.3.1. Notion d'index glycémique (IG) et de charge glycémique (CG)	24
1.3.4.4.3.2. Index glycémique des fruits	26
1.3.4.4.3.3. Facteurs affectant l'IG	26
1.3.4.4.3.3.1. Traitements technologiques et/ou culinaire	27
1.3.4.4.3.3.2. Composés en présence dans l'aliment	27
1.3.4.4.3.3.3. Maturité des fruits	27
1.3.4.4.3.3.4. Taille des particules des fruits	27
I.4. Amélioration de la qualité diététique par addition d'une source non conventionnelle de protéines : la spiruline	28
1.4.1. Valeur nutritive de la spiruline	28
1.4.2. Utilisation de la spiruline dans le domaine alimentaire	29
II – Matériel et méthodes	
2.1. Matériel	32
2.1.1. Dattes	32
2.1.2. Glucose	32
2.1.3. Source de protéines : Spiruline	32
2.1.4. Volontaires	32
2.1.5. Matériel de laboratoire	34
2.1.6. Petit matériel	35
2.1.7. Produits chimiques, réactifs et matériel biologique	35
2.2. Méthodes d'analyses	35
2.2.1. Dattes	35
2.2.1.1. Choix des variétés	35
2.2.1.2. Echantillonnage	36
2.2.1.3. Caractérisation morphologique	36
2.2.1.4. Caractérisation physico-chimique	38
2.2.1.4.1. pH	38
2.2.1.4.2. Conductivité électrique	38
2.2.1.4.3. Taux de solides solubles (°Brix)	38
2.2.1.4.4. Densité	40
2.2.1.4.5. Teneur en eau	40
2.2.1.4.6. Taux de matière sèche	40
2.2.1.4.7. Teneur en cendres	40
2.2.1.4.8. Teneur en éléments minéraux	41
2.2.1.5. Caractérisation biochimique	41
2.2.1.5.1. Dosage des sucres	41
2.2.1.5.1.1. Analyse qualitative des sucres	42
2.2.1.5.1.2. Dosage quantitatif des sucres	42

2.2.1.5.1.2.1. Dosage des sucres totaux et des sucres réducteurs	42
2.2.1.5.1.2.2. Dosage du saccharose	43
2.2.1.5.1.2.3. Dosage du glucose	43
2.2.1.5.1.2.4. Dosage du fructose	43
2.2.1.5.2. Dosage des protéines	44
2.2.1.5.3. Dosage des fibres solubles (pectines)	44
2.2.1.6. Caractérisation diététique	44
2.2.1.6.1. Déroulement des tests	44
2.2.1.6.2. Préparation de l'aliment test	45
2.2.1.6.3. Préparation de la solution de référence	45
2.2.1.6.4. Détermination de la glycémie	45
2.2.1.6.5. Calcul de l'index glycémique	46
2.2.1.6.6. Calcul de la charge glycémique	47
2.2.2. Sirop brut de dattes	47
2.2.2.1. Extraction	47
2.2.2.1.1. Préparation de l'échantillon	47
2.2.2.1.2. Procédé d'extraction des sirops de dattes	48
2.2.2.2. Caractérisation physico-chimique	48
2.2.2.3. Caractérisation biochimique	49
2.2.2.4. Caractérisation microbiologique	49
2.2.2.4.1. Pré-identification des souches	49
2.2.2.4.1.1. Observations macroscopiques	49
2.2.2.4.1.2. Observations microscopiques	49
2.2.2.5. Détermination de l'index glycémique	49
2.2.3. Transformation des sirops bruts de dattes	49
2.2.3.1. Première voie : cristallisation du glucose	49
2.2.3.1.1. Refroidissement des sirops et cristallisation du glucose	50
2.2.3.1.2. Elimination du glucose	50
2.2.3.1.3. Caractérisation des deux fractions	50
2.2.3.2. Deuxième voie : addition d'une source protéinique (spiruline)	51
2.2.4. Analyses statistiques	51

III- Résultats et discussion

3.1. Dattes	52
3.1.1. Caractérisation morphologique	52
3.1.2. Caractérisation physico-chimique	53
3.1.2.1. pH	55
3.1.2.2. Conductivité électrique	55
3.1.2.3. Teneur en eau	56
3.1.2.4. Taux de matière sèche	56
3.1.2.5. Teneur en cendres	57
3.1.2.6. Eléments minéraux	57
3.1.3. Caractérisation biochimique	58
3.1.3.1. Glucides	58
3.1.3.2. Teneur en protéines	60

3.1.3.3. Teneur en fibres (pectines)	60
3.1.4. Détermination de l'index glycémique	61
3.1.4.1. Sélection des sujets	61
3.1.4.2. Evolution de la glycémie des sujets sélectionnés	62
3.1.4.3. Pics hyper-glycémiques et glycémie post-prandiales	63
3.1.4.4. Mesure des aires sous la courbe	66
3.1.4.5. Calcul des index glycémiques	67
3.2. Sirops	70
3.2.1. Rendements d'extraction	71
3.2.2. Caractérisation physico-chimique	72
3.2.2.1. pH	73
3.2.2.2. Conductivité électrique	74
3.2.2.3. Densité	74
3.2.2.4. Teneur en eau	75
3.2.2.5. Taux de la matière sèche	75
3.2.2.6. Degré Brix	75
3.2.2.7. Teneur en cendres	76
3.2.2.8. Eléments minéraux	76
3.2.3. Caractérisation biochimique	78
3.2.3.1. Teneur en sucres totaux	78
3.2.3.2. Teneur en sucres réducteurs	78
3.2.3.3. Teneur en saccharose	79
3.2.3.4. Teneur en protéines	80
3.2.3.5. Teneur en pectines	81
3.2.3.6. Particularités des sirops bruts de dattes	82
3.2.4. Détermination de l'index glycémique du sirop brut de dattes Ghars (SBDG)	82
3.2.5. Développement de produits dérivés du SBDG	85
3.2.5.1. Sirop brut de dattes (SBDG)	85
3.2.5.2. Transformation des SBDG par voie physique	89
3.2.5.2.1. Chromatographie en couches minces de gel de silice (CCM) des deux fractions	90
3.2.5.2.1.1. Chromatographie en couches minces de gel de silice (CCM bidimensionnelle) de la fraction non cristallisée	91
3.2.5.2.1.2. Fraction cristallisée : Taille des cristaux	91
3.2.5.2.2. Dosage quantitatif des sucres de la fraction non cristallisée	93
3.2.5.2.3. Détermination de l'Index glycémique de la fraction non cristallisée	94
3.2.5.3. Influence d'une protéine sur l'IG du SBDG	96
3.2.5.3.1. Détermination de l'index glycémique du Sirop de Dattes Ghars Complémenté (SDGC)	97
3.2.5.3.1.1. Sélection de volontaires non diabétiques	97
3.2.5.3.1.2. Evolution de la glycémie : Pic d'hyperglycémie, Glycémie Post- prandiale	98
3.2.5.3.1.3. Mesure des index glycémiques	98
3.2.5.3.2. Détermination de la charge glycémique	101

3.2.6. Qualité hygiénique des sirops bruts de dattes	103
3.2.6.1. Observation macroscopique	104
3.2.6.2. Observation microscopique	106
Conclusion	108
Référence bibliographiques	113
Annexes	
Productions scientifiques	

Introduction

Introduction

Il est connu que la consommation d'aliments glucidiques entraîne des élévations différentes de la glycémie pour un apport équivalent en glucides. En effet, la vitesse de digestion des glucides d'un aliment est dépendante de sa complexité notamment de sa teneur en fibres, en lipides et en protéines. Par ailleurs, les traitements technologiques, culinaires, les caractéristiques inhérentes à la matière première constituent autant de facteurs pouvant influencer cette vitesse.

Autrefois, on classait les aliments sucrés selon la nature de leurs sucres, en sucres simples « rapides » et en sucres complexes « lents ». Récemment, la notion d'index glycémique et de charge glycémique a supplanté cette classification. Ces deux outils permettent une estimation qualitative et quantitative des glucides ingérés et nous renseignent sur leur effet glycémiant (JENKINS *et al.*, 1987 et DAVID *et al.*, 2011).

Le comportement alimentaire des populations sahariennes repose sur la consommation de dattes le plus souvent accompagnées de lait caprin. Quelques travaux récents rapportent des index glycémiques de dattes, élevés (95 à 107), suggérant que ce fruit (sans préciser la variété), serait hyperglycémiant. Le consommateur autochtone affirme le contraire notamment en ce qui concerne certains cultivars, en l'occurrence « Addela ». Etant donné que les dattes renferment d'autres substances que le glucose (dont l'IG est par convention égale à 100), à savoir le fructose et les fibres dont les IG respectifs sont égaux à 20 et 0 (DAVID *et al.*, 2011), nous nous sommes proposés de commencer par la vérification de toutes ces hypothèses, en déterminant l'IG des dattes Ghars en comparaison avec celles d'autres variétés (Deglet Nour, Degla Beida et Addela).

La datte de la variété molle « Ghars » est très appréciée par la population de la région Sud-est du pays, en particulier la région de Ouargla (676 578 pieds) (ANONYME 1, 2012). Sa conservation est relativement aisée par une méthode artisanale peu coûteuse, consistant en son tassement dans des sacs en toile (Btana). Celle-ci a l'avantage de fournir un sous produit très apprécié localement " le jus dattes" connu sous l'appellation TAMIMT, qui signifie miel. Ce jus possède une grande stabilité, peut se conserver plusieurs mois, voire quelques années dans un endroit frais à l'abri de l'air. Ce coproduit très précieux, était autrefois utilisé pour sucrer le thé. Il est très recommandé aux nourrissons, aux femmes enceintes, aux femmes allaitantes, aux sportifs et aux convalescents. Il est exceptionnellement utilisé pour sucrer

certains plats notamment le couscous. En général, il est employé comme succédané du miel d'abeilles (SIBOUKEUR, 1997). Malgré cette vaste gamme de son utilisation, sa production se caractérise par un faible rendement par rapport au sirop de dattes, mais du fait qu'il résulte de la conservation des dattes molles, il constitue un produit à forte valeur ajoutée. Ce produit capable de cristalliser sous certaines conditions a suscité notre curiosité et est à l'origine de notre recherche.

Dans les pays du golf, un produit similaire connu sous l'appellation "Dibs ou sirop de dattes" est fabriqué industriellement. Il est obtenu par cuisson des dattes.

En Algérie, un produit analogue ou Dibs du point de vue méthode d'extraction est fabriqué empiriquement et vendu sans aucun contrôle sur les marchés locaux et même nationaux. On lui attribue l'appellation "Rob". Ce produit est caractérisé par un taux de solides solubles de l'ordre de 70° Brix, une couleur noire rougeâtre et un goût de dattes dont il est issu.

Récemment, des travaux entrepris au niveau du laboratoire « Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi Arides (P.E.Z.A.S.A), ont permis de mettre au point une méthode d'extraction de sirops de dattes Ghars par diffusion dans de l'eau chaude. Cette méthode repose sur le transport passif des substances solubles de la datte vers l'eau maintenue à 80°C, suivie d'une condensation à 60°C. Elle permet d'obtenir un sirop caractérisé par un degré Brix compris entre 72 - 75°C, par un aspect limpide, une couleur brune et un goût fruité de dattes. Le produit obtenu a fait l'objet d'analyses physico-chimiques, biochimiques et d'une caractérisation diététique au niveau de ce laboratoire. Des propriétés nutritionnelles intéressantes ont été mises en exergue à savoir son contenu en sucres, en fibres, en protéines, en vitamines du groupe B, en polyphénols et en éléments minéraux (MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011). Sur le plan diététique, il présente à l'état brut, des propriétés comparables à celles des sirops à haute teneur en fructose de 1^{ère} génération (HFCS 42%) issus de l'amidonnerie, largement utilisés comme succédané du saccharose par l'industrie des boissons et destinés aux diabétiques et/ou obèses. Cette ressemblance a pour origine une similitude dans la composition qualitative et quantitative en sucres réducteurs des sirops de dattes et des HFCS (MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011). Des HFCS de 2^{ème} génération (55% de fructose) et de 3^{ème} génération (90% de fructose) obtenus par isomérisation du glucose des HFCS de 1^{ère} génération en fructose, sont apparus sur le marché

ces dernières années. Ces sirops sont obtenus par transformation enzymatique. Ils nécessitent de nombreuses opérations, liquéfaction, saccharification et isomérisation pour leur fabrication et des enzymes coûteuses (α amylase, amylo-glucosidase et glucose isomérase : EC: 5.3.1.5). En plus, ils ne sont pas disponibles sur le marché algérien et leur coût est élevé sur le marché international (1 kg = 1.3 \$) (DAVID, 2011).

Toutefois, jusqu'à l'heure actuelle, aucun travail relatif à la détermination de l'IG des HFCS et des sirops de dattes (Dibs ou Rob), autrement dit la détermination de leur pouvoir glycémiant, n'a été rapporté par la littérature.

L'objectif de cette étude vise à élaborer des sirops à base de dattes, variété Ghars en l'occurrence, ayant une composition glucidique la plus proche possible des HFCS de 2^{ème} et 3^{ème} génération, par des procédés relativement simples, susceptibles d'être recommandés aux diabétiques et/ou aux obèses.

La présente étude s'articule autour de cinq parties d'investigations complémentaires:

1. Détermination de l'index glycémique des dattes de la variété Ghars en comparaison avec d'autres variétés aussi répandues dans la région ;
2. Optimisation de la technique d'extraction par « diffusion » du sirop de dattes Ghars ;
3. Caractérisation biochimique et diététique des sirops bruts de dattes ;
4. Transformation du sirop brut en sirops riches en fructose par une voie physique ;
5. Amélioration de la qualité diététique du sirop brut par complémentation avec une source protéinique (spiruline).

I. Synthèse bibliographique

1.1. Palmier dattier (*Phoenix dactylifera*, L.)

1.1.1. Généralités sur le palmier dattier

Phoenix dactylifera L, provient du mot «phoenix» qui signifie dattier chez les phéniciens, et dactylifera dérive du terme grec «dactulos» signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (DJERBI, 1994) (Photo 1). C'est une espèce dioïque, monocotylédone arborescente, appartenant à une grande famille d'arbre à palmes produisant des dattes (GILLES, 2000 ; MAZOYER, 2002 ; ZOHARY *et al.*, 2012).

Le dattier est une monocotylédone probablement originaire du golf persique, cultivé dans les régions chaudes et humides.

La classification du palmier dattier dans le règne végétal est rappelée ci-dessous (DJERBI, 1994) :

- Groupe : Spadiciflores
- Ordre : arecals
- Famille : arecaceae
- Sous Famille : Coryphoidées
- Tribu : Phoenicées
- Genre : Phoenix
- Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

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



Photo 1- *Phoenix dactylifera* L

Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne. L'Espagne, est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche (TOUTAIN, 1972). Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier fut introduit au XVIII^{ème} siècle. Sa culture n'a débutée réellement que vers les années 1900 avec l'importation des variétés Irakiennes (BOUGUEDOURA, 1991 et MATALLAH, 1997). Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie (MATALLAH, 2004 ; MILLER *et al.*, 2011).

1.1.2. Production des principales variétés en Algérie

Le verger phoenicicole national est caractérisé par une diversité génétique importante (plus 1000 cultivars) (HANACHI et KHITRI, 1998). La variété Deglet Nour et les autres variétés dites communes (Ghars, Degla Beida, Mech Degla ...) sont les plus connues (Tableau I).

Le tableau I laisse apparaître une distribution variétale dans les palmeraies du Sud-Est algérien qui regroupe les régions des Ziban (wilaya de Biskra), Oued-Souf (wilaya d'El-Oued) et Ouargla.

Il ressort de ce dernier que le verger phoenicicole recèle une production appréciable de dattes. Les cultivars les plus abondants dans ces régions sont Deglet Nour, Ghars et Degla-Beida. La wilaya de Biskra se distingue par une production importante en dattes Deglet Nour (1.729.650 Q x/an.). La wilaya de Ouargla est connue pour sa production importante en dattes de la variété molle Ghars (435.946 Qx/an.). Chaque groupe de cultivars est en fait adapté à une ou plusieurs régions, selon les conditions climatiques (BELGUEDJ, 2002).

1.2. Datte

1.2.1. Classification des dattes

La diversité variétale du palmier dattier est très grande, offrant des dattes de formes différentes et de caractéristiques souvent à l'origine de leur appellation. Cette diversité est très peu exploitée en Algérie.

Certains cultivars possèdent une valeur marchande intéressante. Elles sont appelées « variétés commerciales » et sont représentées par la *Deglet Nour* (Algérie), le *Mehjoul* (Mauritanie) et le *Zahidi* (Arabie Saoudite) (HANACHI et KHITRI, 1998).

La consistance, du fait à être le 1^{er} critère de classification des dattes en :

- dattes molles ;
- dattes demi-molles ;
- dattes sèches (Tableau II).

Tableau I- Production des principales variétés des dattes algériennes (ANONYME 1, 2012)

WILAYA	Deglet Nour (Dattes demi-molles)		Ghars et analogues (Dattes molles)		Deglet 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
ADRAR	0	0	0	0	865.083	32.5	865.083	32.5
LAGHOUAT	1.108	78	4.859	78	4.891	78.0	10.858	78
BATNA	4.616	69.8	3.772	43.8	4.401	55.2	12.789	55.1
BISKRA	1.729.650	84.8	398.436	82.1	789.098	77.8	2.917.184	82.5
BECHAR	0	0	0	0	239.240	30	239.240	30
TAMANRASSET	0	0	0	0	108.590	24.3	108.590	24.3
TEBESSA	1.100	18.6	280	14.7	110	13.8	1.490	17.3
DJELFA	0	0	0	0	0	0	0	0
M'SILA	0	0	0	0	0	0	0	0
OUARGLA	634.346	62	435.946	52.6	61.009	54	1.131.301	57.5
EL-BAYADH	46	46	6.760	52.8	0	0	6.806	52.8
ILIZI	685	29	9.230	33	5.669	25	15.584	29.4
TINDOUF	0	0	6.075	27	0	0	6.075	27
EL-OUED	1.334.793	66.7	392.150	61.9	295.927	61.5	2.022.870	64.9
KHENCHELA	22.500	59.7	29.600	55	6.800	58.9	58.900	57.2
NAAMA	0	0	8.800	55	0	0	8.800	55
GHARDAIA	195.000	49.3	78.000	54.7	19.700	44.6	470.000	48
TOTAL								
ALGERIE	3.931.244	71.2	1.384.508	61.3	2.577.818	42.9	7.893.570	57.2

Tableau II- Classification des dattes selon leur consistance (ESPIRAD, 2002)

Consistance	Caractéristiques	Variétés et pays
Molle	- Humidité supérieure $\geq$ 30%. - riches en sucres invertis (glucose et fructose)	Ghars (Algérie), Ahmer (Mauritanie), Kashram et Miskhrani (Egypte et Arabie Saoudite)
Demi-molle	- $20\% < H\% < 30\%$ - 50% saccharose et 50% glucose + fructose	Deglet Nour (Algérie), Mahjoul (Mauritanie), Sifri et Zahidi (Arabie Saoudite)
Sèche	$H\% < 20\%$ - riches en saccharose	Degla Beida et Mech Degla (Tunisie et Algérie) et Amsrie (Mauritanie)

1.2.1.1. Deglet Nour

Deglet Nour est la variété la plus célèbre de l'Algérie, tant à l'échelle nationale qu'internationale. Elle est très appréciée. Elle représente 47% de la production dattière nationale. C'est une datte demi-molle, d'un tel aspect, très attrayant.

1.2.1.2. Dattes communes

La structure variétale de la palmeraie algérienne laisse apparaître que les variétés communes de faible valeur marchande sont particulièrement concentrées dans les zones Sud-Ouest du pays (MESSAR, 1996). Cette catégorie de dattes comprend les cultivars de dattes sèches et ceux des dattes molles. La production des dattes communes est estimée à 53%. Les plus répandues dans la région Sud Est du pays sont la variété Ghars, la variété Degla Beida et la variété Mech Degla (BELGUEDJ, 2002).

1.2.1.3. Dattes secondaires

Ce sont des cultivars qui sont rares ou en instance de disparition. Il en existe plus de 150. Les plus répandues sont : Hamra, Timnaceur, Tegaza, Tezerzait et Takerboucht. Cette dernière présente un intérêt particulier dû à sa résistance au Bayoud (BOUGHNOU, 1980).

1.2.2. Constitution du fruit

La datte est composée d'un mésocarpe charnu protégé par un fin épicarpe. L'endocarpe se présente sous la forme d'une membrane très fine entourant la graine, appelée communément noyau. La couleur de la datte est variable selon les cultivars et le stade de maturation. Elle varie du jaune plus ou moins clair, au jaune ambré-brun plus ou moins prononcé, et du rouge au noir (ALDHAHERI *et al.*, 2004).

1.2.3. Rapport noyau / datte entière

La proportion du noyau par rapport à la datte entière constitue une caractéristique qui dépend non seulement de la variété, mais aussi des facteurs chimiques et des conditions de culture, par exemple Deglet Nour d'Algérie « de bonne qualité marchande » pèse environ 10 g et comporte en poids : 10 % noyau, 90% pulpe (DJERBI, 1994).

Ce rapport constitue une caractéristique d'appréciation de la qualité commerciale (DOWSON et ATEN, 1963). Il dépend aussi des facteurs écologiques (MUNIER, 1973). Un faible «rapport noyau/datte» constitue un des critères de qualité des dattes (Tableau III)

Tableau III- Rapport en poids : noyau/datte entière de quelques variétés de dattes (MUNIER, 1973)

Dattes	Rapport noyau/datte entière
Dattes Deglet Nour d'Algérie	8 à 12 %
Dattes Ghars d'Algérie	11 à 12 %
Dattes de Mauritanie	8 à 32 %
Dattes de Californie (U.S.A)	9 à 35 %

Les variétés algériennes présentent les rapports noyau/dattes les plus intéressants. Elles sont donc de meilleure qualité.

1.2.4. Composition biochimique de la pulpe de dattes

La pulpe de la datte est composée de sucres, d'eau, d'éléments minéraux et de produits divers tels que les protéines, lipides, pectines, tanins, vitamines, produits aromatiques...etc. (AL-SHAHIB et MARSHALL, 2003 et AHMED et RAMASWAMY, 2006).

L'eau est l'un des constituants principaux de la datte. Sa teneur est en fonction des variétés, du stade de maturation et du climat. En général, les limites de cette teneur varient de

8 à 40 % du poids frais (AHMED *et al.*, 1995). La teneur en eau des principaux cultivars de dattier algériens est rapportée dans le tableau IV.

Tableau IV- Teneur en eau de quelques variétés de dattes algériennes (KHENFAR, 2004).

Classe des dattes	Variétés	Teneur en eau de la pulpe (%)
Molles	Ghars	25.40
Demi-molles	Deglet Nour	22.60
Sèches	Mech Degla	13.70
	Degla Beida	

Les sucres occupent environ 44 à 88 % du poids sec des de la pulpe. Ils sont de deux types : des sucres majeurs regroupant le saccharose, le glucose et le fructose et des sucres mineurs existant sous forme de traces (galactose et xylose) (ELLEUCH *et al.*, 2008 et ALJASSER, 2009).

Le glucose et le fructose, sucres réducteurs proviennent de l'inversion du saccharose. L'invertase qui catalyse cette réaction a été décelée à des taux différents dans de nombreuses variétés de dattes (BIGLARI *et al.*, 2009).

Les pectines, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine sont des constituants pariétaux importants de la datte (ALLAITH, 2008). Les substances pectiques de la pulpe de dattes varient sensiblement d'une variété à une autre et diminuent progressivement au cours de la maturation (AL-FARSI *et al.*, 2006).

La datte renferme 8.1 à 12.7% de fibres par rapport au poids sec (AL-SHAHIB et MARSHALL, 2003). Une portion de 25g de dattes (3 fruits) fournit 2g de fibres, ce qui représente de 5% à 8% de la quantité de fibres recommandée par jour par OMS/FAO (LAVALLEE-COTE et DUBOST-BELAIR, 2000).

Du fait de leur pouvoir hydrophile, les fibres facilitent le transit intestinal et exercent un rôle préventif des appendicites, des varices et des hémorroïdes (JACCOT et CAMPILLO, 2003).

Les teneurs en protéines varient selon le stade de maturation de la datte. Elles sont relativement faibles puisqu'elles sont comprises entre 1.16 à 1.62 % (ALKAABI *et al.*, 2011). Toutefois, ces protéines sont qualitativement bien équilibrées. Leur composition en résidus aminoacyles correspond parfaitement aux besoins de l'organisme (ALKAABI *et al.*, 2011). En effet, douze résidus aminoacyles dont 4 quantitativement majoritaires ont été décelés chez la variété « Elkhallas » d'Arabie Saoudite (BERINDI, 2000). Il s'agit du glutamate (Glu), de l'aspartate (Asp), de la glycine (Gly) et de la serine (Ser) jouant un rôle important dans le métabolisme cellulaire. Ces acides aminés ont de nombreuses fonctions biologiques importantes. Ils jouent souvent le rôle de messagers chimiques dans la communication entre cellules.

Les acides aminés minoritaires de la datte sont représentés par la lysine (Lys), l'arginine (Arg), le tryptophane (Trp), la valine (Val), la thréonine (Thr), l'alanine (Ala), la tyrosine (Tyr) et la leucine (Leu) qui malgré leur faible teneur sont importants pour le bon fonctionnement de l'organisme et confèrent aux protéines des dattes une bonne valeur biologique. En effet, la majorité de ces acides aminés sont des acides aminés indispensables (DONALD et JUDITH, 1998).

Aux premiers stades de leur évolution, les dattes sont riches en amidon. Cette substance est progressivement remplacée par d'autres sucres au stade de maturité physiologique. Sauf exception, les dattes mûres n'en contiennent pas (AL-GBOORI et KREPL, 2010).

La datte renferme une faible quantité de lipides dont le taux varie entre 0.43 et 1.9% du poids frais (BIGLARI *et al.*, 2009). Elle est liée à la variété et au stade maturation.

Les éléments minéraux contenus dans tout produit destiné à l'alimentation de l'homme pour le fonctionnement de l'organisme sont indispensables (sodium, potassium, calcium...etc.). L'absence ou la réduction de certains éléments est incompatible avec la vie. Ainsi, sans sodium, sans potassium par exemple, il ne peut y avoir de transmission nerveuse. Le calcium participe à l'édifice osseux et à l'activité musculaire. La pulpe de datte est riche en P, en Ca, en K et constitue de ce fait une bonne source minérale (DJERBI, 1994 ; SIBOUKEUR, 1997 ; AHMED et RAMASWAMY, 2006 ; ELLEUCH *et al.*, 2008 ; KULKAMI *et al.*, 2008 ; BIGLARI *et al.*, 2009 ; ALKAABI *et al.*, 2011) (Tableau V).

Les dattes renferment des quantités non négligeables de vitamines, A, B1 et B2 et d'autres sous forme de traces telle que la vitamine C, dont la teneur est relativement faible au

stade Tmar (Tableau VI) (DJERBI, 1994 ; SIBOUKEUR ; 1997 ; ELLEUCH *et al.*, 2008 ; AL-GBOORI et KREPL, 2010 ; IQBAL *et al.*, 2011. Les réactions biochimiques ne sont possibles qu'en présence de protéines spécialisées, mais pour agir, elles ont besoin, de très faibles quantités des vitamines. En effet, les vitamines, notamment celles du groupe B, sont les précurseurs des nombreux coenzymes, entrant dans de nombreuses réactions biochimiques.

Par ailleurs, comme tous les produits végétaux frais ou transformés, la datte aux stades avant maturation est riche en composés phénoliques (VAYALIL, 2002 ; AL-FARSI *et al.*, 2005 ; VINSON *et al.*, 2005 ; AL-FARSI *et al.*, 2006 ; ALLAITH, 2008 ; BIGLARI *et al.*, 2009).

Tableau V- Teneur en éléments minéraux des dattes selon DJERBI, 1994 ; SIBOUKEUR, 1997 ; ALKAABI *et al.*, 2011)

Eléments	Teneur (mg/100g de datte) (DJERBI, 1994)	Teneur (mg/100g de datte) (SIBOUKEUR, 1997)	Teneur (mg/100g de datte) (ALKAABI <i>et al.</i> , 2011)
Sodium	4.1 – 4.8	2.03	12.19
Calcium	58.3 – 58.8	80.50	93.63
Magnésium	50.3 - 58,5	17.38	74.69
Fer	1.3 – 2	2.03	0.3894
Phosphore	54.8 - 63,8	-	24.55
Soufre	43.8 – 51.8	-	-
Chlore	268 – 290	256	-
Potassium	649 – 754	664	-
Cuivre	0.18 - 0,21	1.92	-
Zinc	-é	-	0.1329
Manganèse	-	2.1	0.0836
Plomb	-	-	1.95
Cadmium	-	-	0.14

Les dattes sont très prisées au stade Routab. Elles renferment à ce stade une quantité appréciable de polyphénols et une teneur négligeable en tanins responsables de l'astringence des dattes immatures (TEILLI *et al.*, 2009 ; TEILLI *et al.*, 2010).

Tableau VI- Vitamines de la datte en mg/100g de dattes (DJERBI, 1994 et AL-GBOORI et KREPL, 2010)

Vitamine	Variétés Algériennes (DJERBI, 1994)	Variétés Iraquiennes (AL-GBOORI et KREPL, 2010)
Vitamine A	80 -100	-
Thiamine (B1)	0.07	80 - 130
Riboflavine (B2)	0.03	135 - 173
Vitamine C	0.77 – 2.7	2.41 - 3.56

Les polyphénols exercent un rôle important pour l'organisme. Ils ont des effets antioxydants. Ils en inhibent l'oxydation des lipoprotéines par le piégeage des espèces oxygénées réactives. Ils ont des effets anti-inflammatoires, abaissent la tension artérielle et renforcent le système immunitaire (HENK *et al.*, 2003).

L'analyse qualitative des composés phénoliques de la datte a révélé la présence des acides cinnamiques, des flavones, des flavonones et des flavonols (MANSOURI *et al.*, 2005). Les premiers contribuent à certaines propriétés organoleptiques majeures comme la couleur et l'arôme. Ils jouent également un rôle déterminant sur un plan gustatif et tout particulièrement sur les sensations d'amertume et possèdent des propriétés antibactériennes et antivirales (CHEYNIER et SARNI-MANCHADO, 2006).

1.2.5. Utilisation de la datte dans la pharmacopée traditionnelle

La datte est utilisée dans la pharmacopée traditionnelle comme produits de beauté connu depuis l'antiquité et encore pratiqué de nos jours par les populations des régions phoenicicoles. Les décoctions de dattes étaient utilisées autrefois comme calmant contre certains troubles nerveux, contre la diarrhée infantile... La consommation de la datte est jusqu'à l'heure actuelle recommandée aux femmes allaitantes pour ses effets galactogènes (MUNIER, 1973).

1.2.6. Technologie de la datte

Les dattes constituent la base de l'alimentation de la majorité des populations des zones sahariennes. Elles sont considérées comme l'un des plus importants piliers de l'économie du secteur agricole. L'augmentation importante des rendements en dattes a permis d'adopter des approches technologiques et biotechnologiques avancées. Dans

quelques pays, notamment aux Emirats Arabes Unis et en Arabie Saoudite), les industries de transformation de la dattes suivent encore beaucoup de méthodes de production et n'ont pas encore rattrapé les autres industries agricoles modernes (AL- HOOTI *et al.*, 2002 ; SIDHU *et al.*, 2003 ; AHMED et RAMASWAMY, 2006). Il y a quelques années, des méthodes simples ont même permis de conserver des récoltes pendant de longues durées (EL- OGAI, 1987). Dans les années 80, une évolution de la technologie de la dattes avait envahie certains pays arabes et plus particulièrement l'Irak (EL- OGAI, 2000).

Aujourd'hui, la plus grande usine de transformation se trouve aux Emirats Arabes Unis (ALFOAH Company-LLC à Saad). Cette usine est spécialisée dans le conditionnement des dattes et l'élaboration de divers produits. L'usine traite annuellement 50000 tonnes de dattes selon les normes internationales et les systèmes de qualité ISO et HACCP.

En Algérie, jusqu'à l'heure actuelle, il n'existe aucune usine de transformation industrielle des dattes. Seules quelques chambres froides permettent la conservation des dattes Deglet Nour dans la région de Biskra (BENSAYAH, 2014).

1.2.7. Transformation locale des dattes communes

La valorisation des dattes communes apparaît comme une solution privilégiée puisque cette matière première est disponible en grande quantité et un prix relativement bas. Trente à cinquante pour cent de la production nationale est constituée par les dattes communes susceptibles d'être récupérées et transformées. Deux méthodes de transformations technologiques sont actuellement adaptées à petite échelle : la transformation directe et la transformation indirecte (MOKHBER *et al.*, 2008).

1.2.7.1. Transformation par voie biotechnologique

Ce type de transformation indirecte s'intéresse généralement aux dattes de faible valeur marchande. Ces dattes, pourvues d'une forte teneur en sucres, peuvent en effet servir pour la production de certains produits tels que le vinaigre, l'acide acétique, la levure, éthanol ...etc.

Les dattes peuvent être utilisées pour la fabrication du vinaigre (OULD EL HADJ *et al.*, 2001). Les travaux menés par BENAMARA *et al.* (2008) et BOUKHIAR, (2009) ont prouvé la possibilité de produire du vinaigre en utilisant du moût de dattes (variété sèche Mech Degla et Degla Beida). Le principe est basé sur une double fermentation simultanée alcoolique et acétique par *Saccaromyces uvarum* ou *Saccaromyces cerevisiae*. Le vinaigre obtenu titre

entre 4 et 5 (acide), des quantités appréciables en vitamine C et un faible reliquat de sucres réducteurs. Sa couleur varie en fonction de la variété de dattes utilisé (BOUAZIZ et OULD EL HADJ, 2010). Elles peuvent également être utilisées comme milieu de culture pour la production de levure.

1.2.7.2. Transformation par voie technologique

1.2.7.2.1. Pâte de dattes

Les dattes molles ou ramollies par humidification, sont généralement destinées à la production de la pâte de dattes obtenue par tassement. Lorsque le produit est trop humide, il est possible de lui ajouter la pulpe de noix de coco ou la farine d'amande douce pour obtenir une pâte utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (ESPIRAD, 2002).

En Algérie, les dattes sont tassées manuellement dans des sacs en toile (Btana) et au détail.

Aux EAU, l'usine ALFOAH, fabrique de nombreux produits à base de dattes. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer les pâtes de dattes aromatisées aux graines de certaines plantes (le hile) ou garnies avec des amandes ou autres fruits secs moulus ou entiers, dattes enrobées de chocolat, des dragées, des nougats ...

1.2.7.2.2. Farine de dattes

Le séchage de dattes a pour objectif principal de faciliter le broyage de la pulpe. La teneur en eau passe de 9 à 7% (BENAOUDA, 1994 ; SIBOUKEUR et LAKHDARI, 1997 ; AIT-AMEUR, 2001 cité par DJOUAB, 2007). Cet abaissement permet d'augmenter la concentration en sucres et donc la durée de conservation des farines par diminution de l'activité de l'eau (a_w) (AL-SHAHEB et MARSHALL, 2003). Cette farine est préparée à partir de dattes sèche communes. Elle est riche en sucres et utilisée soit en l'état (pour les enfants) et en biscuiterie (amélioration de la faveur) (SIBOUKEUR et LAKHDARI, 1998 ; AIT-AMEUR, 2001).

1.2.7.2.3. Autres produits : Sirops

Les dattes de qualité secondaire, molles ou écrasées, peuvent être utilisées pour la fabrication d'autres produits (AHMED et RAMASWAMY, 2006). De nos jours, les populations des régions phoenicicoles algériennes, Ouargla en l'occurrence continuent à élaborer un certain nombre de produits à valeur ajoutée qu'elles utilisent dans leur

alimentation quotidienne, tels que le jus de dattes, Rob, Takerwait, la confiture, le sirop de dattes...etc.

Dans ce contexte, l'augmentation du prix du saccharose a incité plusieurs chercheurs à s'intéresser à la recherche de succédané du saccharose dont le prix serait bas. Ainsi, des édulcorants divers ont été synthétisés (polyalcools, peptides...) pour remplacer le saccharose dans des préparations alimentaires (ALNAZI, 2010). Les substances glucidiques provenant de l'hydrolyse de l'amidon (sirops de glucose, de HFCS...) ont longtemps occupé une place importante dans ces recherches.

D'autres chercheurs notamment ceux des pays phoenicicols ont focalisé leurs travaux sur le sirop de dattes caractérisé, par sa richesse en éléments minéraux, en vitamines... etc (ABDELFAH, 1990 ; SIBOUKEUR, 1995 ; EL-EID, 2006 ; GANBI, 2012).

1.3. Sirop de dattes

Le sirop de datte, également appelé « *miel de datte* » « *Rob AT-Tamr* » (*appellation impropre*) *au Dibs* dans le monde arabe, est un produit sucré, foncé de couleur marron extrait à partir des dattes et typique de la cuisine Arabe (MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011).

1.3.1. Situation dans le monde

Le sucre de canne et le sucre de betterave, font objet d'une grosse production industrielle, alors que le sirop de dattes commence à peine à être fabriqué industriellement (usine ALFOAH Company – LLC) bien qu'il soit depuis très longtemps confectionné par les familles phoenicultrices.

La datte est une source de sucre difficilement épuisable. Sa teneur en sucre est comprise entre 70 à 78 %. Celle-ci est très élevée par rapport à celle de la canne et de la betterave qui est de l'ordre de 64%. Elle pourrait donner des bons rendements en sucre (86.5%) (AL-EID, 2006). C'est la raison pour laquelle les Irakiens se sont intéressés à la technologie de la datte afin de réduire leur dépendance envers l'étranger.

1.3.2. Situation en Algérie

Bien que le nombre de palmiers dattiers évolue d'une année à une autre dans presque toutes les wilayas phoenicoles, l'Algérie continue à prendre du retard dans le domaine de la transformation des dattes, bien que beaucoup de conditions s'apprêtent à leur valorisation par

des procédés technologiques. Ainsi, la production du Rob (sirop) est cantonnée dans les régions du sud et continue à garder son cachet familial. En effet, les méthodes utilisées sont empiriques et aléatoires. Les produits obtenus ne sont pas homogènes par manque de maîtrise des techniques et absence de reproductibilité.

1.3.3. Procédés d'élaboration des sirops de dattes

1.3.3.1. Procédé par pressurage

Le principe de ce procédé repose sur la méthode par tassement. Cette dernière constituant un moyen de conservation des dattes molles, a pour avantage de récupérer un liquide sirupeux (SIBOUKEUR, 1997). Ce sous-produit présente l'aspect du miel d'abeilles. Il se caractérise par l'absence de trouble et ne nécessite donc pas de clarification chimique ou enzymatique. Le tassement des dattes s'effectue généralement dans des sacs en toile (Btana). Le principal inconvénient de cette technique est son faible rendement, variant de 10 à 15% du poids des dattes. Néanmoins, ce procédé est le moyen le plus efficace pour conserver les dattes molles à la température ambiante (20 à 35⁰C) pendant quelques années (EL-OGAIDI, 1987).

1.3.3.2. Procédé par cuisson à basse température dans l'eau

Ce procédé est utilisé en Irak. Les dattes sont mises à tremper dans de l'eau tiède (30°C) pendant plusieurs heures. L'extrait résultant, après filtration et élimination des fibres et des noyaux, est soumise de nouveau à un au chauffage sur un feu doux, pour faire évaporer l'eau et augmenter sa concentration. L'inconvénient de cette technique réside dans le fait que le jus qui n'a pas toujours la même concentration (absence de reproductibilité). En plus, celle-ci est souvent faible, d'où risque de fermentation (EL-OGAIDI, 2000).

1.3.3.3. Procédé par cuisson à haute température dans l'eau

Cette méthode à été utilisé par GAD *et al.* (2010). Il s'agit d'un procédé d'extraction par trempage de dattes dans l'eau chaude pendant 2 heures, puis leur passage à la réfrigération pour poursuivre l'extraction.

Une méthode d'extraction à haute température a été décrite par BAHRAMIAN *et al.* (2011). Il s'agit de l'extraction de sirop par l'addition des enzymes (pectinase et cellulase) à 90°C pendant 3 minutes. La séparation du sirop est effectuée par la centrifugation à 1600 x g. L'avantage de cette technique réside dans l'obtention de rendements intéressants.

1.3.3.4. Procédé par diffusion

Ce procédé est basé sur la macération de dattes dans de l'eau maintenue à 80°C durant 24 heures. Cette opération est suivie d'un tamisage, afin de séparer le sirop de dattes. Le filtrat subit ensuite une concentration. Cette opération a pour but d'obtenir un produit concentré ayant un degré Brix compris entre 72 - 75 °Brix. Elle a lieu dans une étuve réglée à 60°C. Cette température permet d'éviter la déstabilisation des sucres à savoir production de dérivés furfuraliques, caramélisation...) (MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011).

1.3.4. Principales caractéristiques des sirops de dattes

Les sirops de dattes contiennent essentiellement un mélange de sucres qui diffèrent par un certain nombre de propriétés, mais qui du point de vue alimentaire ont globalement la même valeur énergétique. Généralement, la composition biochimique du sirop de dattes se résume ainsi : un degré Brix compris entre 70 à 75 % ce qui permet sa conservation au-delà de deux ans, sans risque d'altération, une teneur en eau de 12 - 25% du poids frais et une teneur élevée en sucres totaux ($\geq 80\%$) dont la majorité est sous forme de sucres réducteurs, les éléments minéraux, les protéines sont présents en faibles quantités 0 -2 % et les fibres solubles (pectines) 1 – 4% (Tableau VII) (AL-EID, 2006; MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011; ALKAABI *et al.*, 2011 ; GANBI, 2012).

Tableau VII- Composition biochimique du sirop de dattes

Composition en %	AL-EID (2006)	Al-KHATEEB (2008)	MIMOUNI et SIBOUKEUR (2011) (variété Ghars)
Teneur en eau	13.5	16	13.7
Solides solubles	86.5	84	86.3
Sucres totaux	81	79.45	80.73
Sucres réducteurs	80	74.83	79.96
Saccharose	1	4.87	0.77
Protéines	2.2	0.83	1.15
Pectines	1.8	1.46	3.86

1.3.4.1. Qualité organoleptique

L'intensité du goût sucré diffère considérablement d'un édulcorant à un autre, même au sein de la famille des glucides. La plupart des édulcorants à haut pouvoir sucrant possèdent des arrière-goûts qui se superposent au goût sucré et qui résultent d'impuretés qui sont parfois indéfinissables au point de ne pas se ranger parmi les quatre goûts fondamentaux (salé, acide, sucré ou amer) (MULTON et LEPATRE, 1984).

En revanche, parmi les propriétés intéressantes du sirop de dattes, élaboré par des méthodes technologiques actuelles (extraction par diffusion), sa couleur ambrée. MUNIER (1973), décrit le sirop de dattes comme étant un produit stable d'une couleur plus ou moins brune. Dans des flacons transparents, il peut prendre une couleur noir- rougeâtre.

Le sirop de dattes est caractérisé par un goût relativement sucré, à cause de sa teneur en fructose, ose à pouvoir sucrant élevé. Son goût rappelle celui de la datte dont il est issu (ENTEZARI *et al.*, 2004).

1.3.4.2. Qualité nutritive

Le sirop de dattes peut être fabriqué avec les dattes de faible valeur marchande. Il est liquide et sa concentration est modulable. Naturel, il peut être consommé en l'état ou utilisé comme édulcorant (SIDHU *et al.*, 2003 et ENTEZARI *et al.*, 2004).

En outre, son obtention est moins fastidieuse que l'extraction du sucre à partir de la canne, de la betterave ou la fabrication de sirops à haute teneur en fructose (isoglucose ou HFCS) issu de l'industrie de l'amidon (TURNER, 1986 et SARAFIS, 1998).

Il peut être considéré comme un sucre inversi naturellement, car il contient des proportions en glucose et fructose presque équivalentes, et un reliquat de saccharose ayant échappé à l'action de l'inversi lors de l'extraction. Ce sirop renferme également d'autres substances hydrosolubles telles que les fibres (JAMSHIDI *et al.*, 2008).

1.3.4.3. Propriétés physico-chimiques

La densité moyenne du sirop est fonction de sa concentration finale. Elle est très élevée grâce au taux de solides solubles existant dans ce produit. Ce caractère permet leur stockage pendant une longue durée (GANBI, 2012).

La viscosité est une propriété physique importante du sirop de dattes. C'est l'un des paramètres à prendre en considération lors de la conception des procédés technologiques utilisés dans l'industrie alimentaire (HABIBI-NAJAFI et AL-EID, 2006). Elle détermine les conditions de stockage du produit. D'une manière générale, il existe une relation linéaire entre le logarithme de la viscosité et le logarithme de l'humidité d'un sirop. La viscosité augmente lorsque la teneur en eau diminue, elle est proportionnelle au taux des substances solubles dans le sirop, ce qui lui donne un pouvoir sucrant élevé. Un sirop à 72 ou 75% de teneur en matières sèches, a une viscosité de 500 centpoises (GUERIN *et al.*, 1982).

Selon HABIBI-NAJAFI et AL-EID (2006), le sirop de dattes est un produit très visqueux, ceci est dû à sa faible teneur en eau. Cette propriété est importante pour préserver la qualité hygiénique du produit durant son stockage.

Par ailleurs, le fructose du sirop de dattes, par son caractère hygroscopique permet d'obtenir d'une texture très recherchées dans la fabrication des gâteaux et du pain d'épices (ABDELFATTAH, 1990).

1.3.4.4. Particularités diététiques des sirops de dattes en comparaison avec d'autres édulcorants

La similitude en matière de composition glucidique des sirops de dattes et le sucre inverti, a permis d'identifier plusieurs propriétés diététiques. Ces dernières sont en relation directe avec la teneur en fructose.

Le fructose (appelé autrefois lévulose) est le sucre des fruits et du miel d'abeille. Il a un pouvoir sucrant de 1.3 à 1.5 fois plus élevé que le saccharose. Sa valeur calorique est identique à celle des autres sucres (4 kcal par g). En revanche, son indice glycémique est plus faible que celui du saccharose (FOSTER-POWELL *et al.*, 2002). Le fructose est un sucre simple qui se comporte comme un sucre lent. D'où son importance pour les sportifs et les personnes cherchant à perdre du poids. Il peut être préconisé, dans certaines conditions et sous contrôle médical, dans les régimes pour diabétiques (NORMAND *et al.*, 2001).

Le fructose est absorbé au niveau de l'intestin grêle par transport actif mais indépendamment du sodium, contrairement aux autres monosaccharides. Ensuite, il passe dans la circulation sanguine, en tant que tel (fructose) n'influençant pas ainsi la glycémie. Le fructose doit attendre d'être envoyé au foie pour être métabolisé, alors que la majorité des autres sucres sont déjà décomposés lorsqu'ils traversent la paroi intestinale pour entrer dans la

circulation sanguine. Cela a pour conséquence que le fructose possède un index glycémique plus bas que le glucose, qui lui, fait monter la glycémie instantanément (STANHOPE et HAVEL, 2008).

Du point de vue physiologique, le fructose possède un autre avantage, notamment pour les diabétiques : il n'a pas besoin d'insuline pour être métabolisé dans les cellules car la fructokinase n'est pas influencée par l'insuline (Fig. 1). Il peut ainsi être conseillé dans des régimes pour les diabétiques, sans toutefois dépasser des doses de 30 à 40 g répartis dans la journée (SCHAEFER *et al.*, 2009).

L'entrée de fructose dans les cellules n'est pas insulino-dépendante, différant ainsi du glucose. Elle est facilitée par des transporteurs spécifiques. Contrairement au glucose, le fructose ne déclenche pas la sécrétion d'insuline. Comme pour tous les hexoses, la métabolisation du fructose débute par sa phosphorylation. La fructokinase est l'enzyme principale de la phosphorylation du fructose. Elle convertit le fructose en fructose 1-P utilisant l'ATP comme donneur de phosphate. Le fructose 1-P n'est ni isomérisé en fructose 6-P, ni phosphorylé en fructose-1,6-bisè. Il est clivé par fructose 1-P aldolase en phosphodihydroxyacétone (PDHA) et D glycéraldéhyde. PDHA peut entrer dans la glycolyse ou dans la néoglucogénèse après isomérisation en glycéraldéhyde 3-P. Le D-glycéraldéhyde peut être métabolisé, après phosphorylation en présence de l'ATP, par D-glycéraldéhyde kinase (SUI *et al.*, 2012).

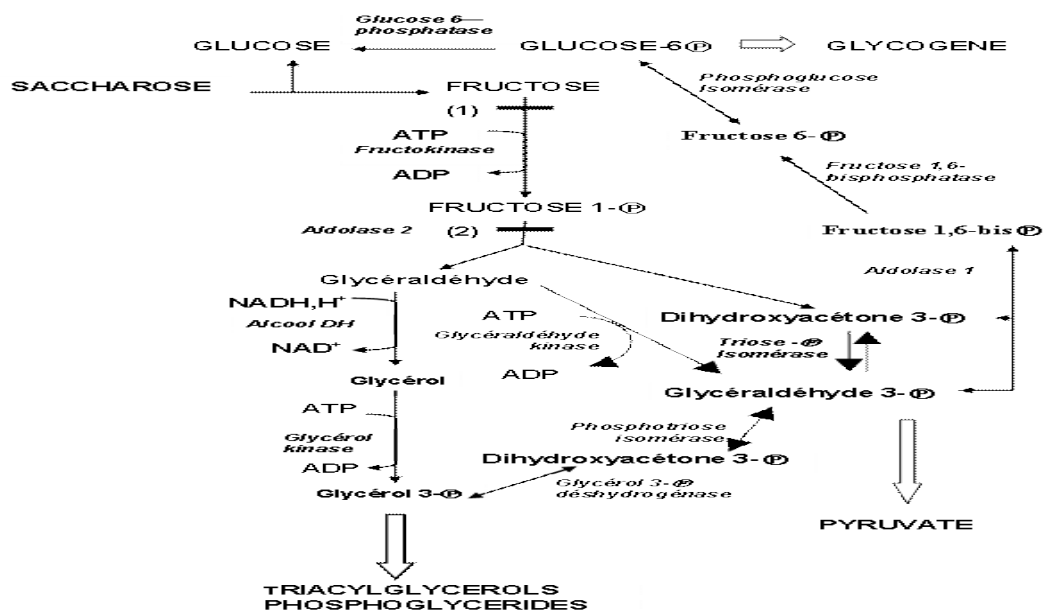


Fig. 1- Métabolisme du fructose (WEIL *et al.*, 1997)

Depuis des milliers d'années, l'homme consomme du fructose en très petites quantités via les fruits frais. Or, ces dernières décennies la consommation de fructose par les diabétiques et/ou obèses a considérablement augmenté via de certains produits manufacturés. En effet, certaines boissons et certains biscuits dits « Light » sont fabriqués avec édulcorants, en l'occurrence avec des sirops à haute teneur en fructose issus de l'industrie de l'amidon (HFCS).

1.3.4.4.1. Comparaison des sirops de dattes avec les sirops à haute teneur en fructose (HFCS)

La plupart du temps, le saccharose a été remplacé dans la composition des produits alimentaires industriels par un édulcorant moins onéreux comme le HFCS (High Fructose Corn Syrup) ou sirop de maïs à haute teneur en fructose ou encore nommé isomérose, isoglucose ou sirop de fructose (BRAY *et al.*, 2004 et DAVID *et al.*, 2009).

En Europe, l'interdiction d'utiliser des édulcorants, tels que le cyclamate ou la saccharine, provoqua en 1974, un énorme déséquilibre entre la production et la consommation mondiale de sucre, ce qui entraîna une augmentation très importante du prix mondial du sucre. Cette situation stimula le lancement de sirops de fructose depuis cette époque. Bien que le prix du sucre soit revenu après une courte période, à un prix normal, ce nouvel édulcorant fut rapidement accepté par l'industrie (DUFFEY et POPKIN, 2008).

Aux États-Unis, en 1970, la consommation des HFCS ne s'élevait qu'à 0,23 kilos par personne et par an alors qu'en 1997 elle atteignait déjà 28,4 kilos par an, soit plus 100 fois (KASPAR et ULRICH, 2006). Quant à la consommation du fructose, elle représentait en 2008, plus de 10 % de la consommation énergétique pour certaines personnes aux États-Unis (BRAY, 2008).

1.3.4.4.1.1. Composition physico-chimique et biochimique des HFCS

Les HFCS présentent une teneur en eau de l'ordre de 20% et une teneur en sucres réducteurs de l'ordre de 95%. Cette dernière est variable selon la génération de HFCS considérée :

- HFCS de 1^{ère} génération : 42% fructose, 58% glucose ;
- HFCS de 2^{ème} génération : 55% fructose, 45% glucose ;

- HFCS de 3^{ème} génération : 90% fructose et 10% glucose.

Les HFCS contiennent en plus une faible quantité d'oligosides variant de 1 à 5%. Le taux de matière sèche y est très élevé. Il est compris entre 71 à 77%. Le pH des HFCS oscille entre 3.5 à 4.0. La teneur en éléments minéraux y est très faible (BRAY, 2008).

1.3.4.1.2. Préparation des HFCS

Ils sont produits à partir de l'amidon de maïs (WHITE, 1992). Ces sirops de maïs sont composé presque entièrement de glucose. En ajoutant des enzymes à ces sirops on transforme le glucose en fructose. Le sirop qui en résulte (après conversion enzymatique) contient environ 90 % de fructose, c'est le HFCS 90. Pour préparer les autres types courants de HFCS (HFCS 55% et HFCS 42%), le HFCS 90% est mélangé avec du sirop de maïs à 100 % de glucose dans les proportions adéquates pour obtenir la concentration désirée en fructose (Fig.2). Le processus enzymatique qui transforme le sirop de maïs à 100 % de glucose en HFCS 90 est le suivant :

1. l'amidon de maïs est traité par l'alpha-amylase pour produire des chaînes oligosaccharides ;
2. la glucoamylase décompose ces chaînes jusqu'à obtenir le sucre le plus simple, le glucose ;
3. la glucose isomérase convertit alors le glucose en un mélange d'environ 42 % de fructose et 50 à 52 % de glucose avec quelques autres sucres dans le mélange.

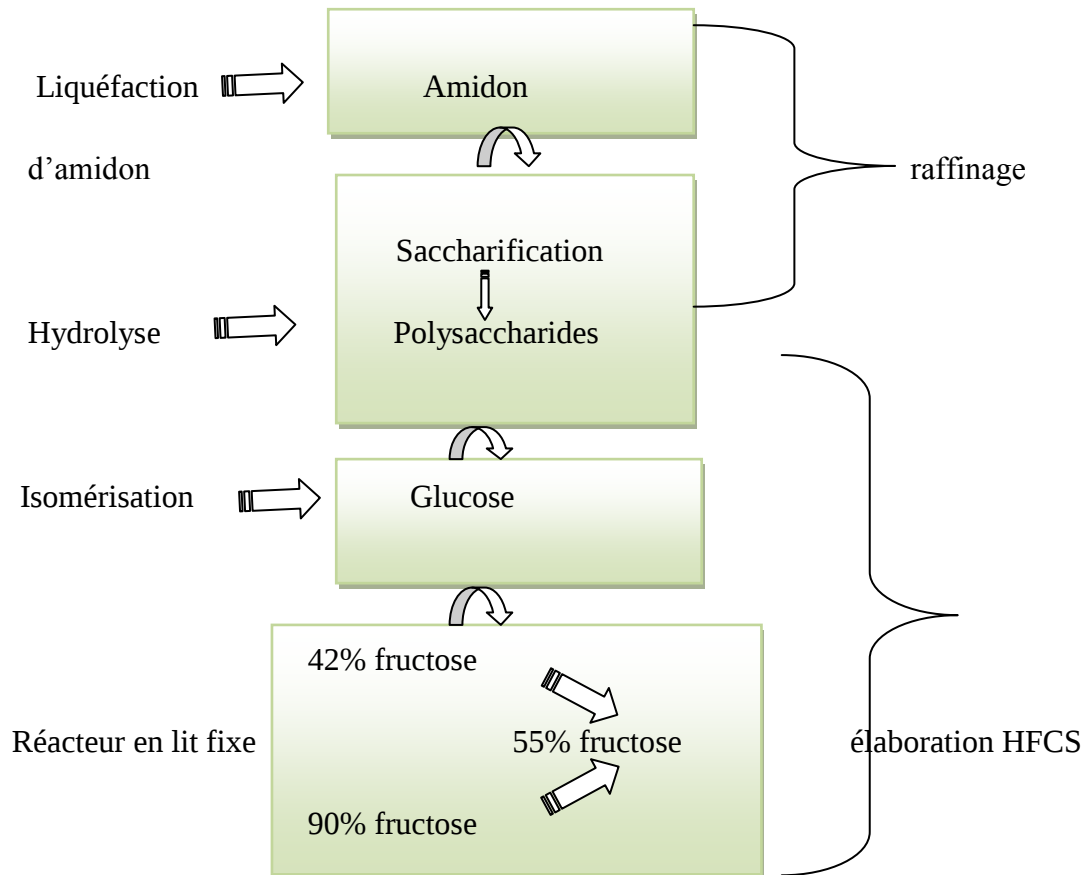


Fig. 2- Préparation des sirops à haute teneur en fructose (HANOVER et WHITE, 1993).

1.3.4.4.2. Effet du fructose des HFCS sur la santé

Des études épidémiologiques chez l'homme ont montré que la consommation de boissons sucrées, contenant du saccharose et/ou du sirop de glucose-fructose, provoquait une augmentation du poids corporel et induisait ainsi des maladies métaboliques et cardiovasculaires (GIRARD, 2008 ; ANGELOPOULOS, 2009). L'augmentation de la consommation du fructose pur pourrait ainsi être en relation avec l'hypertriglycémie (Fig 2) (BRAY, 2008 ; TEFF, 2009 et SCHAEFER *et al.*, 2009). En conclusion, l'augmentation de la consommation de fructose est corrélée à l'augmentation de la prévalence de l'obésité, du syndrome métabolique, du diabète de type 2 (STANHOPE et HAVEL, 2008). De surcroît, la déficience en magnésium combinée à une alimentation riche en fructose accentue les effets délétères du fructose et engendrerait des modifications des marqueurs de l'inflammation et du stress oxydatif. En plus, il est important de signaler qu'une majorité de la population souffre d'une déficience en magnésium (RAYSSIGUIER, 2006).

1.3.4.4.3. Effet du fructose natif des fruits

Dans les fruits, le fructose est toujours associé à d'autres nutriments qui favorisent son assimilation. En outre, le fructose contenu dans les fruits, étant associé aux fibres susceptibles de ralentir son absorption, et aux oligoéléments susceptibles d'aider son métabolisme, aurait moins d'effets indésirables sur l'organisme que s'il était ingéré à l'état pur (MUNSTEDT, 2009). C'est le cas du fructose des dattes molles (MIMOUNI et SIBOUKEUR, 2011).

Parallèlement, la recherche en nutrition a montré que la consommation de différents aliments glucidiques entraîne des élévations différentes de la glycémie pour un apport équivalent en glucides. En effet, la vitesse de digestion des glucides d'un aliment est dépendante de sa complexité (teneur en fibres, en matières grasses, traitements technologiques, différences variétales des matières premières...etc.). Abandonnées, car fausses, les anciennes terminologies de « sucres simples, rapides » et de « sucres complexes, lents » (le fructose par exemple est un sucre simple à assimilation lente), ont été remplacées par les notions d'index glycémique et de charge glycémique (DAVID, 2011). Ces deux outils permettent une estimation qualitative et quantitative des glucides ingérés et de leur impact sur leur assimilation dans l'organisme.

1.3.4.4.3.1. Notion d'index glycémique (IG) et de charge glycémique (CG)

La glycémie correspond à la concentration de glucose dans le sang. À jeun, la valeur de la glycémie est comprise entre 0,7 et 1,1 g de glucose par litre de sang, et après un repas elle peut s'élever jusqu'à environ 1,4 g/l (DAVID, 2011).

La notion d'index glycémique a été introduite par JENKINS en 1981 (JENKINS, 1981 ; GRIMALDI et HEURTIR, 1999). L'index glycémique (IG) permet de classer des portions d'aliments contenant des quantités équivalentes de glucides disponibles, en fonction de leur potentiel d'élévation du taux de glucose dans le sang. Cet index est particulièrement utile pour les diabétiques puisqu'il leur permet de gérer leur glycémie et parfois leur médication. L'index glycémique est défini comme le pouvoir hyperglycémiant, c'est à dire la capacité pour un aliment donné de faire monter le taux de sucre dans le sang, par rapport à un aliment de référence, en général le glucose ou le pain blanc dont l'IG = 100 par convention.

Deux aliments contenant la même quantité de glucides n'ont pas forcément le même pouvoir hyperglycémiant, indépendamment de leur structure biochimique.

L'index glycémique dépend de la régulation de la glycémie. Cette dernière est un mécanisme lié à la sécrétion pancréatique de deux hormones antagonistes : l'insuline (hormone hypoglycémiante) et le glucagon (hormone hyperglycémiante). Rappelons que l'insuline est une hormone polypeptidique intervenant dans le cycle du glucose. Son rôle est de maintenir constante la concentration du sang en glucose, c'est une hormone hypoglycémiante. Elle est sécrétée par les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas. Elle permet l'absorption du glucose par les cellules musculaires et les adipocytes. Lorsque sa sécrétion est insuffisante, il y a apparition du diabète de type I. Le glucagon est une hormone hyperglycémiante sécrétée par les cellules α des îlots de Langerhans du pancréas. Elle possède des propriétés antagonistes de l'insuline. Son rôle est de stimuler la glycogénolyse (DAVID, 2011).

En situation d'hypoglycémie, la sécrétion du glucagon permet de remonter le niveau de glucose plasmatique vers sa valeur normale en diminuant l'utilisation de glucose par l'organisme et en augmentant la production endogène si nécessaire (production hépatique de glucose au cours du jeûne prolongé ou néoglucogénèse).

À l'opposé, l'insuline est l'hormone capable de rabaisser le taux de glucose plasmatique après un repas en augmentant l'utilisation et en inhibant la production hépatique de glucose (glycogénogénèse). Il en résulte une augmentation de la sécrétion du glucagon à jeun et une diminution durant les phases de digestion et d'absorption, alors que la production d'insuline évolue de façon inverse (Fig.3) (DAVID, 2011).

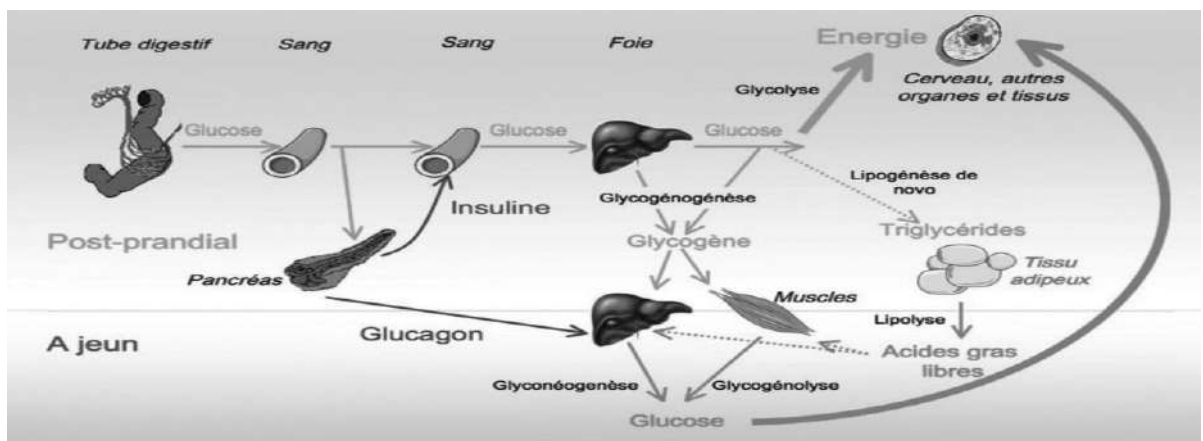


Fig. 3- Homéostasie glucidique (DAVID, 2011)

Si la notion d'index glycémique reste la plus répandue pour mesurer les variations d'impact d'un aliment sur la glycémie, la charge glycémique est également une notion importante car elle renseigne sur la quantité de glucides ingérée. La charge glycémique d'un aliment correspond en effet au produit de l'index glycémique par la teneur en glucides de cet aliment.

Cette notion, plus complète que l'IG seul, englobe à la fois les aspects qualitatif et quantitatif en glucides d'un aliment mais n'informe cependant pas quant à la complexité des interactions entre nutriments dans le bol alimentaire (DAVID, 2011).

1.3.4.4.3.2. Index glycémique des fruits

La consommation du fructose natif extrait de fruits dénommé fructilight par DAVID (2011) a entraîné, à charge glycémique équivalente, une très faible réponse glycémique postprandiale en comparaison à celle obtenue avec le glucose référent, traduisant un index glycémique très faible de 11.93 (DAVID, 2011). Cet index glycémique est très inférieur à celui du fructose non issu de fruits, de l'ordre de 20 – 23. Le fructose natif extrait de fruits apparaît donc comme un sucre à fort intérêt nutritionnel présentant le plus faible index glycémique des sucres caloriques du marché et assurant un maintien de l'homéostasie glucidique (DAVID, 2011).

Ces recherches scientifiques corroborent le positionnement unique, différenciant et pertinent du fructose natif extrait de fruits (FructiLight) et élargissent les possibilités de ses utilisations dans l'industrie agro-alimentaire, avec un double atout naturalité et santé (DAVID, 2011).

1.3.4.4.3.3. Facteurs affectant l'IG

La composition intrinsèque des aliments peut influencer la variation de l'index glycémique. Ainsi, plusieurs facteurs extrinsèques jouent un rôle important. La composition d'un aliment agit sur la réponse glycémique à travers la notion de charge glycémique. Pour un même index glycémique, plus un aliment est riche en macronutriments autres que les glucides, plus petite sera la charge glycémique et moins il y aura d'influence sur la glycémie. La présence de fibres ou de protéines, en diminuant la vitesse de digestion, rend les glucides moins rapidement disponibles et donc permet d'abaisser l'IG (DAVID, 2011).

1.3.4.4.3.3.1. Traitements technologiques et/ou culinaire

Le traitement thermique appliqué à un aliment a la capacité d'augmenter son index glycémique. Plus le traitement est important, plus l'index glycémique sera augmenté. En outre, l'état physique d'un aliment a une influence directe sur la rapidité du processus physiologique de la digestion et l'absorption, et donc sur l'index glycémique. Ainsi, un aliment sous forme liquide, plus rapidement digéré et absorbé, possède un plus haut index glycémique que le même aliment solide (exemple du raisin : IG = 45 et du jus de raisin (sans sucre ajouté) ; IG = 55) (DAVID, 2011).

1.3.4.4.3.3.2. Composés en présence dans l'aliment

Les fibres, les lipides et dans une moindre mesure les protéines ont la capacité de ralentir la vidange gastrique (NORMAND *et al.*, 2001 ; JENKINS *et al.*, 1987). De ce fait, dans le cadre d'un repas « complet », la présence de fibres, de lipides et de protéines permettra de limiter le pic d'hyperglycémie postprandial.

1.3.4.4.3.3.3. Maturité des fruits

La maturité des fruits entraîne généralement une augmentation de l'index glycémique. La maturation d'un fruit ou d'un légume s'accompagne en effet d'une conversion d'un sucre complexe (amidon) en glucides simples (glucose et fructose), dont les teneurs augmentent à des degrés divers selon le fruit. Ces glucides simples ont une influence spécifique sur l'index glycémique (DAVID, 2011).

1.3.4.4.3.3.4. Taille des particules des fruits

La taille des particules ingérées a un impact sur la réponse glycémique : il existe une corrélation positive entre la taille des aliments avalés et la diminution de l'index glycémique (DAVID, 2011).

I.4. Amélioration de la qualité diététique par addition d'une source non conventionnelle de protéine : la spiruline

La classification systématique a été étudiée par plusieurs auteurs. GARDNER (1917), a suggéré de retenir le nom « *Arthrospira* » pour les formes à paroi visiblement cloisonnée et

celui de la « Spiruline » pour les formes à cloisons invisibles. Par la suite BERGUEY (1994), les a classés comme suit :

Ordre : Nostocales

Famille : Oscillatoriaceae

Genre : Spiruline

Espèce : *S.plantensis* et *S.maxima*

1.4.1. Valeur nutritive de la spiruline

La spiruline contient de 60 à 70 % de protéines (de haute qualité) par rapport à son poids, soit 2 fois plus que dans le soja et 3 fois plus que dans les viandes et poissons en générale (WALSBY, 1973 ; SAUTIER et TREMOLIERES, 1975 ; FOX, 1999 ; BLINKOVA, 2001 ; ARRIGNON, 2004 ; CHARPY *et al.*, 2008), constituant ainsi la source la plus riche de protéines végétales connue dans le monde, contenant les huit acides aminés essentiels ; qui s'y trouvent en quantité équilibrée, et neuf autres acides aminés qui procurent un équilibre naturel parfait. Son apport en lysine apparaît plus important que celui des céréales mais nettement inférieur à celui des légumineuses. Ce sont des éléments constitutifs de notre corps. Ils s'occupent de la construction des muscles et de leur guérison.

La spiruline contient toutes les vitamines du groupe B. leur effet positif sur le système nerveux, les rend tout à fait indiquée pour les personnes nerveuses. La vitamine B12, est de loin la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande, car aucun végétal n'en contient. Contenant trois fois plus que le foie de veau cru ; la spiruline est considérée comme la meilleure source. La vitamine B12, intéressante pour les individus atteints de malnutrition, sa carence entraîne l'anémie (KOLETZKO *et al.*, 1986 ; DECSIS et KOLETZKO, 2000 ; BRANGER *et al.*, 2003).

La spiruline contient également 15 fois plus de β -carotène que la carotte, (précurseur de vitamine A), que le corps transforme en vitamine A. Elle augmente la résistance et contribue à la bonne condition de la peau, des cheveux et des ongles. La vitamine A joue un rôle dans la vision, aussi un puissant anti-oxydant. Elle intervient dans la différenciation cellulaire. Son rôle se manifeste essentiellement dans l'immunité (BRANGER *et al.*, 2003). Enfin, la spiruline contient de la vitamine E, qui aide à développer les capacités intellectuelles et physiques et à augmenter la vitalité.

Les apports en glucides sont de 15 à 25 % du poids sec, les proportions en glucides simples sont faibles. Contrairement à celles des glucides complexes surtout sous forme de polysaccharides membranaires aux propriétés immuno- stimulantes (CRISTOPHE, 2003).

Les proportions en lipides atteignent jusqu'à 15% du poids sec en maximum. Ces lipides renferment des acides gras essentiels du groupe omega-6 (ω -6) ; dont l'acide gamma-linolenique (CRISTOPHE, 2003). La spiruline contient beaucoup d'acides gamma-linolenique. Cet acide gras se trouve dans le lait maternel. Le corps le transforme en prostaglandines et en hormones. L'acide gamma- linolenique participe à maintenir la forme et la structure de la membrane cellulaire ; particulièrement, la rétine, le cerveau et des cellules nerveuses. Il joue également un rôle dans les transports, les échanges des activités enzymatiques et les mécanismes électrophysiologiques au sein des membranes cellulaires. Les acides gras poly-insaturés se manifestent principalement dans le métabolisme de cholestérol.

La spiruline est très riche en chlorophylle, qui favorise l'absorption de fer dans le sang. Elle contribue également à l'action purifiante du foie, jouant un rôle essentiel. L'un des pigments les plus importants de la spiruline est la phycocyanine, qui donne avec la chlorophylle la couleur bleu-vert. C'est un oxydant puissant, elle renforce l'action désintoxiquant du foie et des reins, protège les cellules contre les radicaux libres et stimule l'hématopoïèse (DATTA *et al.*, 2004).

La spiruline contient tous les minéraux essentiels au corps : le fer, le magnésium, le manganèse, le potassium, le calcium, le phosphore, le zinc et le rare sélénium (le calcium, le potassium et le manganèse en quantité comparable au lait). En effet, la spiruline est une des meilleures sources naturelles de fer. Elle constitue une source importante de fer (20 fois plus élevée que le germe de blé) (SHIZHONG *et al.*, 2004). Le fer entre dans la formation des globules rouges ; la perte ou l'insuffisance d'apport en fer entraîne l'anémie.

1.4.2. Utilisation de la spiruline dans le domaine alimentaire

La spiruline est exploitée depuis des milliards d'années par les populations du sud asiatique (Chine, Japon et la Corée), l'Afrique et l'Amérique. Elle est actuellement cultivée aussi en Europe (France).

Cette algue est intéressante en tant que source riche en substances antioxydants et anti-radicalaires tels que les caroténoïdes, les polyphénols, les vitamines, les acides polyinsaturés et les acides aminés. Elle recommandée comme complément alimentaire pour lutter contre la

mal nutrition et les carence en acides gras essentiels, vitamines, fer et iode. Les doses préconisées vont 5 à 10g /jour (BRANGER *et al.*, 2003).

La spiruline rentre dans la fabrication de plusieurs produits alimentaires. Le tableau VIII regroupe les différents produits fabriqués à base de spiruline. Les extraits de spiruline sont commercialisés pour les actions cicatrisantes, antiseptiques régénératrices des cellules des tissus (SPOLAORE *et al.*, 2006).

PATEL *et al.* (2006), ont étudié l'effet des radicaux peroxydes et hydroxyles sur la phycocyanine isolée de trois espèces de cyanobactéries : *Lyngbya*, *Phormidium* et *Spirulina sp*. Ils ont constaté que la phycocyanine est un puissant antioxydant qui élimine à la fois les radicaux peroxydes et hydroxyles et protège contre les maladies liées au stress oxydatif.

Tableau VIII- Produits alimentaires à base de spiruline

Aliments	Références
Gâteau de nouille (0,1 – 19%) de spiruline ajoutée à la farine	Beret chinois (XU, 1993)
Pain de spiruline	CHEN et LI (1999)
Boissons de spiruline	Beret chinois (ZENG et LIANG, 1995)
Liquide alimentaire constitué de l'extrait de spiruline et de miel	JAOUEN <i>et al.</i> (1999), (LIANG et CHEN, 2001)
Comprimés de spiruline	(YAMAGUCHI, 1997).

Plusieurs études ont montré les effets bénéfiques de cette micro-algue. Elle est employée en nourriture en cas de carence en acides gras essentiels (HUDSON et KARIS, 1974) et comme aliment thérapeutiques (DEGBEY *et al.*, 2006).

Plusieurs substances d'intérêt biotechnologiques issues de la spiruline platensis sont disponibles sur le marché international, tels que les colorants alimentaires naturels riches en phycocyanine (JAOUEN *et al.*, 1999).

La spiruline peut être consommée mélangée à la farine, au miel, au sucre, à la soupe et aux boissons, dont les sirops de dattes.

La complémentation de divers produits issus de dattes par de la spiruline est donc envisageable.

II. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Dattes

Le matériel d'étude se compose de dattes de quatre cultivars de palmiers: Ghars, Deglet Nour, Degla Beida récoltées à partir de palmeraies situées à Ouargla et Addela de Ghardaïa (Photo 2).

2.1.2. Glucose

Des volumes de 166.66 ml d'une solution de glucose à 30% équivalant à 50g de glucose ont été utilisés comme aliment de référence (Index glycémique = 100 par référence). Cette solution nous a été fournie par le laboratoire de l'hôpital Mohamed Boudiaf. Du glucose anhydre a également été utilisé dans cette étude.

2.1.3. Source de protéines : Spiruline

La spiruline (*Arthrospira platensis*) cultivée au niveau de l'exploitation de l'Université Kasdi Merbah Ouargla a été utilisée dans cette étude. Elle est considérée parmi les protéines alimentaires non conventionnelles largement utilisées dans le domaine agro-alimentaire. Elle renferme jusqu'à 70% de protéines, des sels minéraux, des oligo-éléments et des vitamines (MARK, 2007) (Photo 3).

Elle se présente sous forme d'une poudre de couleur verte obtenue par séchage puis broyage de la biomasse. Cette poudre est conservée dans une boîte fermée hermétiquement à l'abri de l'air et l'humidité.

2.1.4. Volontaires

Sur recommandation de la FAO, un minimum de 6 sujets est requis pour la détermination de l'IG d'un aliment en prenant compte de la variabilité intrasujet (ANONYME-3, 1998). Dans notre cas, 41 volontaires répartis en groupe de 6 ou 7 selon la nature de l'aliment testé ont participé aux tests (Annexe 7 et 8).



A



B



C



D

Photo. 2 - Dattes : A. Ghars, B. Deglet Nour, C. Addela et D. Degla Beida



Photo. 3 - Poudre de spiruline

2.1.5. Matériel de laboratoire

2.1.5.1. Appareillage

2.1.5.1.1. Appareillage utilisé au laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla :

- centrifugeuse max. 12 000×g (SIGMA, France) ;
- étuve (Mettler GmbH, Allemagne) ;
- Matériel de microbiologie divers : microscope optique doté d'un appareil photo et connecté à un microordinateur (Marque ZEISS).

2.1.5.1.2. Appareillage utilisé au laboratoire de Bioressources de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla :

- analyseur des fibres (VELP) ;
- cuve de chromatographie (largeur 20 cm, longueur 6 cm et hauteur 20 cm).

2.1.5.1.3. Matériel utilisé au laboratoire de microbiologie de l'Algérienne des eaux de Ouargla :

- étuve bactériologique (Mettler GmbH, Allemagne) ;
- autoclave (SANOCLAV, France) ;
- compteur de colonies (pb international).

2.1.5.1.4. Appareillage utilisé au laboratoire pédagogique de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla:

- spectrophotomètre UV-Visible (SHIMADZU) ;
- pH-mètre (HANNA) ;
- conductivimètre (KARLKOLB) ;
- balance de précision (DENVER)
- spectrophotomètre à flamme (JENNAY) ;
- four à moufle (HERAEUS) ;
- réfrigérateur (ENIEM) ;
- réfractomètre (NOVEX) ;
- densimètres.

2.1.5.1.5. Appareillage utilisé au laboratoire de l'hôpital**Mohammed Boudiaf**

- spectrophotomètre UV-Visible (SCHIMADZU, Japon).

2.1.6. Petit matériel

Un certain nombre d'accessoires et petit matériel spécifique est utilisé dans le cadre de cette étude :

- lecteur de glycémie (Accu-chek Active), bandelettes réactives, stylo auto piqueur, plaques chromatographiques (Chromatographie sur Couche Mince), pieds à coulisse, papier filtre sans cendres, gaz, filtre de 1mm, séchoir, micropipettes, gants et masques, verrerie (béchers, fioles jaugées, fioles à vide, pipettes graduées, tubes à essais, burettes...).

2.1.7. Produits chimiques, réactifs et matériel biologique

- solvants (acide acétique, acide chlorhydrique, chloroforme, acide sulfurique, éthanol, glycérol, hydroxyde de sodium, méthanol, acétone, acide orthophosphorique ...) ;
- sels et tampons (chlorure de sodium, nitrate d'argent, chlorure de sodium, chlorure de calcium, sulfate d'ammonium, chromate de potassium, sulfate de cuivre, sulfate de potassium, tartrate double de sodium et potassium, 1-3 dihydroxy-benzène ;
- colorants et réactifs spécifiques : Nigram (diphénylamine, aniline), réactif de Folin-Ciocalteu) ;
- réactifs enzymatiques : glucose oxydase, peroxydase ;
- glucose, fructose, saccharose ;
- Serum Albumine Bovine (BSA) ;
- milieux de culture : tryptone-glucose-extrait-agar (T.G.E.A), oxytetracycline-glucose-agar (O.G.A).

2.2. Méthodes d'analyses**2.2.1. Dattes****2.2.1.1. Choix des variétés**

En plus de la variété Ghars les variétés Deglet Nour et Degla Beida ont été soumis aux mêmes analyses à titre comparatif.

Ces dattes sont choisies d'abord sur la base de leur consistance molle, demi-molle et sèche. Le choix a ensuite porté sur leurs caractéristiques biochimiques et sur les particularités diététiques évoquées par certains consommateurs. Leur abondance dans la région de Sud-Est d'Algérie (Ouargla, Ghardaia) a également contribué à guider notre choix.

- la variété Ghars, ciblée par le présent travail, occupe sur le plan commercial, la deuxième position après Deglet Nour, est une variété molle. Elle est très répandue dans la cuvette de Ouargla et est très prisée par les autochtones.
- la variété Deglet Nour est une variété demi-molle. Elle est consommée en l'état et utilisée dans la confection des dattes fourrées. Elle est commercialisée sur le marché national et international d'où sa célébrité.
- la variété Addela fait partie des dattes demi-molles. Elle est très appréciée par la population de la région Ghardaïa et surtout celle de Metlili. Elle est supposée être non hyperglycémiant.
- la variété Degla Beida est une variété sèche. Elle a une importance économique secondaire (dattes communes) devant les variétés Deglet Nour et Ghars. Cette variété est consommée en l'état ou orientée vers la fabrication de la farine. Elle est souvent destinée à l'exportation vers les pays du sud (CHEHMA et LONGO, 2001).

2.2.1.2. Echantillonnage

La méthode d'échantillonnage suivie est celle préconisée par GIRARD (1962). Nous avons subdivisé les palmeraies en différentes parcelles. Les prélèvements de dattes sont réalisés à partir de deux à trois palmiers d'un même cultivar situé dans des parcelles différentes. Cinq kilogrammes de fruits sont prélevés au hasard sur différents régimes de différents palmiers. Les dattes d'un même cultivar sont mélangées, acheminées au laboratoire et placées à 4 °C (Fig. 4).

2.2.1.3. Caractérisation morphologique

La détermination des caractéristiques morphologiques est réalisée sur 10 fruits prélevés au hasard. Il s'agit de la détermination

- de la couleur de la datte au stade Tmar ;
- des mensurations du fruit entier et de son noyau (longueur et largeur) au moyen d'un pied à coulisse ;

- du poids de la datte, de sa pulpe, au moyen d'une balance analytique de précision KERN, $\pm 0,0001$ marque (référence 420-3NM) ;
- de la consistance, de la plasticité, de la texture, et du goût ;
- du rapport noyau/datte (MUNIER, 1973) :

$$\text{Noyau/datte} = \frac{\text{Poids du noyau}}{\text{Poids de la datte entière}} \times 100$$

- du rapport pulpe/datte (KHATCHADOURIAN et al, 1983)

$$\text{Pulpe /datte} = \frac{\text{Poids de la datte} - \text{Poids du noyau}}{\text{Poids de la datte}} \times 100$$

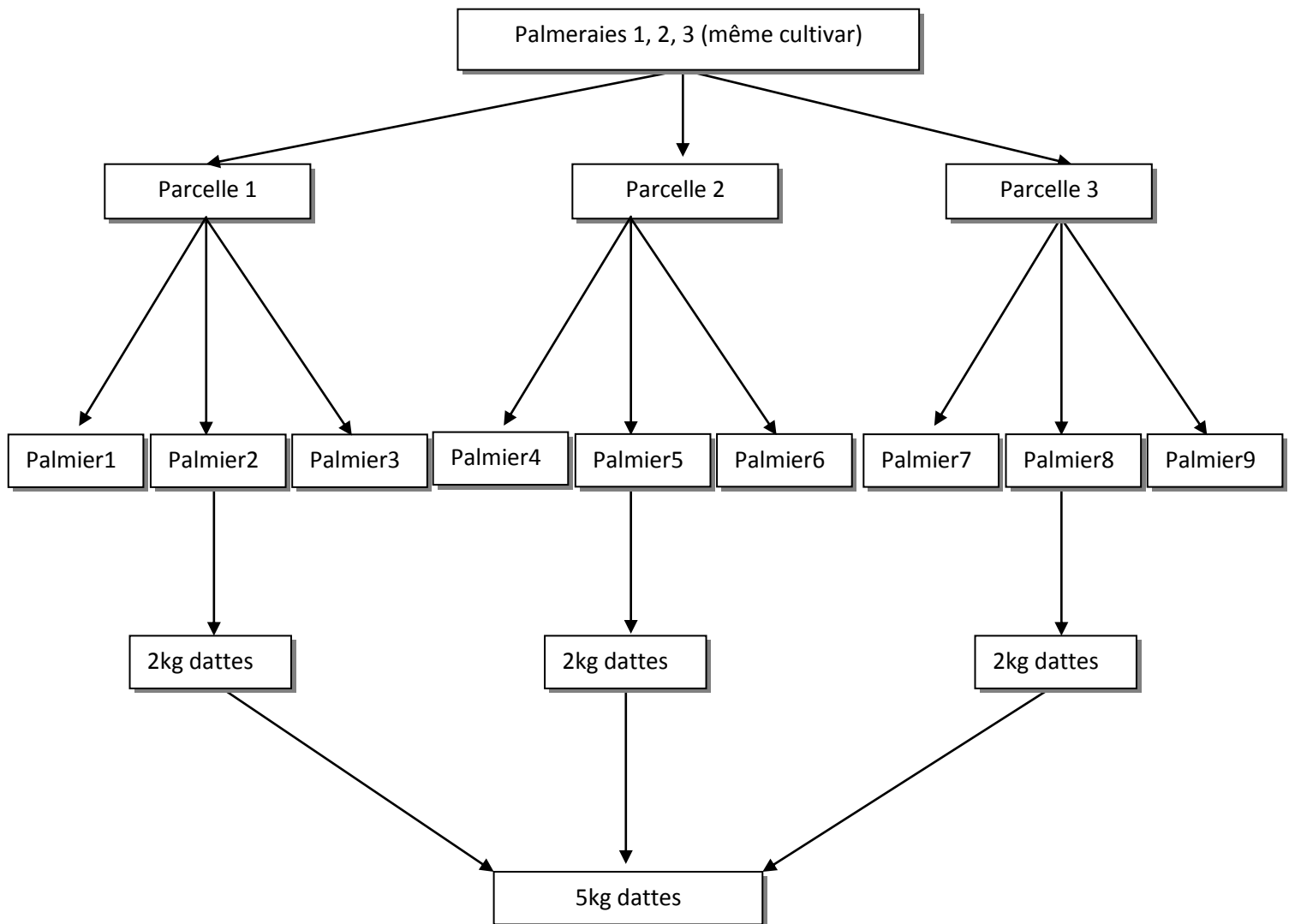


Fig. 4 – Méthode d'échantillonnage (GIRARD (1962))

2.2.1.4. Caractérisation physico-chimique

Les analyses physico-chimiques sont effectuées sur la datte entière et sur les produits élaborés expérimentalement à partir de la datte (Fig. 5).

Les dattes sont lavées et débarrassées de leur graine. Elles sont ensuite broyées très finement à l'aide d'un mixeur. Le broyat, auquel on ajoute le double de son poids d'eau distillée, est porté au bain-marie à 85°C pendant 45 minutes, sous agitation. Le jus extrait est tamisé à travers une gaze (BOUGUEDOURA, 1991). Le jus tamisé récupéré va subir des analyses physico-chimiques et biochimiques.

2.2.1.4.1. pH

Le pH des dattes et de leur sirop est déterminé à l'aide d'un pH mètre (marque Hanna pH 211). Une électrode de verre dont le potentiel dépend de la concentration en H_3O^+ de la solution, est plongée dans la solution. Une fois le pH-mètre étalonné, on relève la valeur du pH. Le résultat représente la moyenne de trois répétitions (ANONYME 2, 2005).

2.2.1.4.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique des dattes et celle des sirops exprime la teneur du produit en matières minérales. Elle est exprimée en $\mu S/cm$. Elle est variée en fonction de la température (ANONYME 2, 2005). Elle est déterminée à l'aide d'un conductivimètre. Après rinçage de l'électrode à l'eau distillée, on prend la valeur de la température de la solution à analyser, puis on mesure la conductivité avec un conductimètre à partir de l'équation suivante :

$$C.E (\mu S/cm) = C.E m \times F$$

C.E : conductivité électrique

C.E m : conductivité électrique mesurée

F : facteur de correction en fonction de la température

2.2.1.4.3. Taux de solides solubles (°Brix)

Le taux de solides solubles (T.S.S) exprimé également en degré Brix, est déterminé à l'aide du réfractomètre d'Abbé, thermostaté qui permet une lecture directe de l'indice de réfraction (IR) et du degré Brix. L'indice de réfraction de l'eau par rapport à l'air est égal à 1.33 à la température de 20°C. Si l'on dissout une substance dans l'eau, l'indice de réfraction

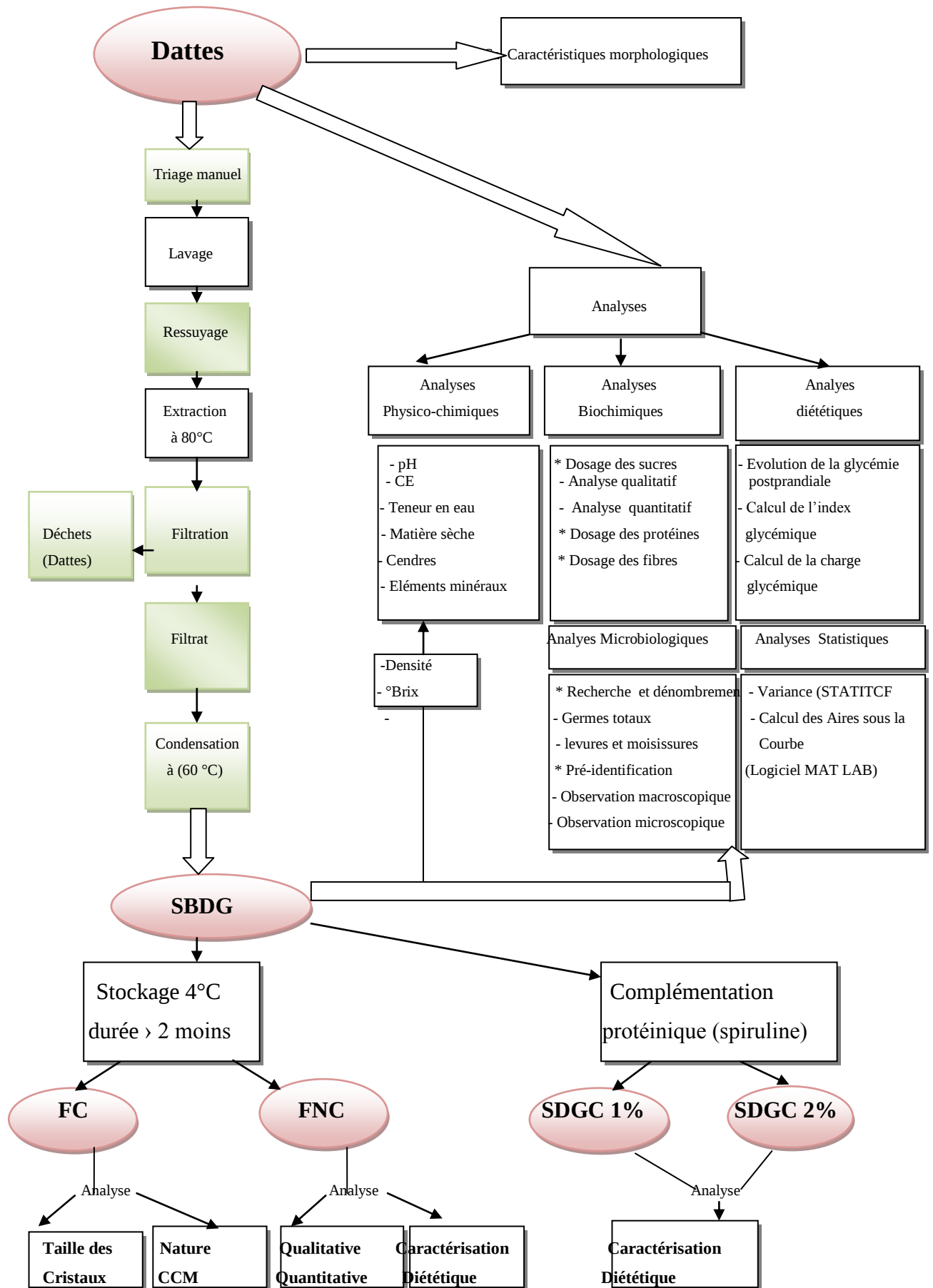


Fig. 5 : Procédure expérimentale

réfraction augmente. Il varie dans le même sens que la concentration de la substance dissoute (ANONYME 2, 2005).

2.2.1.4.4. Densité

La densité permet d'estimer le taux de matières solides et la viscosité des solutions. Celle-ci est d'une importance considérable dans la mesure où elle renseigne sur l'aptitude des micro-organismes à s'y développer.

La densité est déterminée à l'aide de pycnomètres. Cette technique consiste en la détermination du rapport du poids d'un volume déterminé de liquide (sirop) sur le poids d'un même volume d'eau à 4 °C (ANONYME 2, 2005).

Les pesées sont réalisées à l'aide d'une balance de précision (Marque KERN).

Poids d'un volume de sirop Densité = Poids du même volume D'H₂O distillée à 4°C
--

2.2.1.4.5. Teneur en eau

La teneur en eau des dattes et de leur sirop est déterminée par dessiccation d'une prise d'essai d'un produit, dans une étuve à 105 °C, jusqu'à obtention d'un poids constant, (ANONYME 2, 2005). La teneur en eau d'un produit peut renseigner sur le degré potentiel de prolifération des micro-organismes.

2.2.1.4.6. Taux de matière sèche

La matière sèche est le résidu sec des produits alimentaires après l'évaporation de leur humidité dans une étuve à 105 °C, jusqu'à poids constant (ANONYME 2, 2005).

2.2.1.4.7. Teneur en cendres

Les cendres totales permettent de juger la richesse en éléments minéraux et la composition minérale du produit. Les cendres sont déterminées par incinération du produit dans un four à moufle électrique à 600°C pendant 3 heures jusqu'à l'apparition d'une coloration blanche ou grise (ANONYME 2, 2005).

2.2.1.4.8. Eléments minéraux

Le calcium, le magnésium, le fer, le zinc et potassium sont déterminées par spectrophotométrie à absorption atomique (marque AA-680). En absorption atomique la concentration est déduite de la mesure d'absorption de la lumière par les atomes de l'élément restés à l'état fondamental lorsqu'ils sont éclairés par une source lumineuse convenable. La mesure de l'intensité lumineuse est faite à une longueur d'onde spécifique de l'élément à doser.

Le sodium est déterminé à l'aide du photomètre à flamme qui permet le dosage des cations alcalins (Na^+ et K^+). La présence d'un filtre (Na^+) permet de sélectionner une radiation caractérisant ce dernier (ANONYME 2, 2005).

La teneur des chlorures, est déterminée par la méthode de MOHR (TOUIMER et KAILALI, 1985). Le chlore est précipité par du nitrate d'argent (NO_3Ag) en présence de chromate de potassium ($\text{CrO}_4 \text{K}_2$). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent ($\text{CrO}_4 \text{Ag}_2$) (Annexe 1).

2.2.1.5. Caractérisation biochimique

Les dattes sont des aliments sucrés, leur composition biochimique dépend principalement de leur teneur en sucres.

2.2.1.5.1. Dosage des sucres

La datte et les produits issus de la datte sont caractérisés par leur teneur élevée en sucre. Les sucres majeurs sont le glucose, le fructose et le saccharose.

Dans la présente étude nous avons dosé qualitativement et quantitativement ces composés.

- **Préparation des échantillons par défécation**

Nous avons procédé d'abord à une défécation de l'échantillon (dattes). Le principe consiste à porter au bain marie bouillant, pendant 30 minutes 100 ml de l'échantillon. Après refroidissement, le volume est ajusté à 100 ml puis filtrer. On ajoute au filtrat 10 ml d'acétate de plomb à 10%. Après agitation de la solution, celle-ci est filtrée. L'excès de plomb est éliminé par l'addition d'environ 1g de carbonate de sodium au filtrat. Nous avons effectué d'une seconde filtration en vérifiant l'absence définitive de plomb (absence de précipité). Nous avons procédé d'abord à une défécation de l'échantillon (dattes). Le principe consiste à porter au bain marie bouillant, pendant 30 minutes 100 ml de l'échantillon. Après refroidissement, le volume est ajusté à 100 ml puis filtrer. On ajoute au filtrat 10 ml d'acétate de plomb à 10%. Après agitation de la solution, celle-ci est filtrée. L'excès de plomb est éliminé par l'addition d'environ 1g de carbonate de sodium au filtrat. Nous avons effectué d'une seconde filtration

en vérifiant l'absence définitive de plomb (absence de précipité blanc) (GIRARD, 1962).

2.2.1.5.1.1. Analyse qualitatif des sucres

Le dosage est effectué par chromatographie d'adsorption sur couche mince de gel de silice (AUDIGIE et *al*, 1995). Il concerne l'identification des sucres majeurs des dattes, tel que le saccharose, le glucose et le fructose (RANDERATH, 1971). Les sucres sont séparés par migration différentielle. Les spots sont révélés par le révélateur de Nigram (AUDIGIE et *al*, 1995).

Le système de solvant utilisé pour l'identification des sucres majeurs composants les dattes et les sirops (saccharose, glucose et fructose) est composé de la solution A comportant 94 ml d'acide acétique dans 6ml d'eau distillée et du chloroforme à 85%, à raison de 44 ml de chloroforme pour 56 ml de solution A (RANDARATH, 1971). La révélation est effectuée par le réactif de Nigram (Annexe 2).

L'identification des sucres est possible par la comparaison de rapport frontal (R_f) entre la distance de migration de l'échantillon et celle d'une substance de référence pure (les R_f des sucres témoins) (RANDARATH, 1971).

$$R_f = \frac{\text{Distance parcourue par la substance}}{\text{Distance parcourue par l'éluant}}$$

2.2.1.5.1.2. Dosage quantitatif des sucres

Une fois que les composantes glucidiques des échantillons ont été identifiées, l'étape suivante consiste à déterminer la quantité de chacun de ces composants.

2.2.1.5.1.2.1. Dosage des sucres totaux et des sucres réducteurs

Les teneurs en sucres totaux et sucres réducteurs sont déterminées par la méthode de BERTRAND (AUDIGIE et *al*, 1995). En milieu alcalin et à chaud, les oses et osides réducteurs présentent des propriétés réductrices vis-à-vis de l'ion cuivrique (Cu^{2+}). Cette méthode est basée sur la réduction d'une liqueur cupro-alcaline. On fait agir un excès de liqueur cupro-alcaline sur les sucres dans des conditions bien fixées. On sépare l'oxyde cuivreux et on le traite par une liqueur sulfurique de sulfate ferrique (AUDIGIE et *al*, 1995 réf) (Annexe 3).

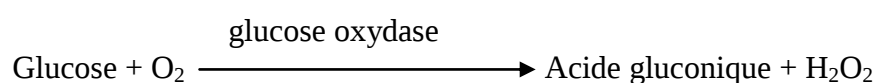
2.2.1.5.1.2.2. Dosage du saccharose

La teneur en saccharose est déterminée par la formule suivante :

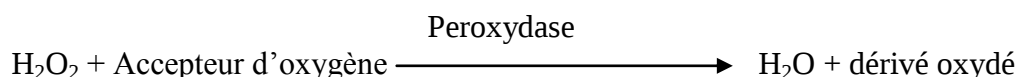
$$\text{Saccharose \%} = (\text{sucre totaux \%} - \text{sucre réducteurs \%}) \times 0,95$$

2.2.1.5.1.2.3. Dosage du glucose

Le dosage du glucose se fait par une méthode enzymatique – colorimétrique. Le glucose est oxydé par l'oxygène dissous en acide gluconique. La réaction est catalysée par le glucose oxydase (G.O.D) (AUDIGIE et *al*, 1995).



Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) formé est dosé par une réaction enzymatique indicatrice. L' H₂O₂ oxyde un accepteur d'oxygène (incolore sous sa forme réduite) en un dérivé oxydé (coloré). La réaction est catalysée par une peroxydase (réaction ci-dessous).



Dans les conditions du protocole expérimental, l'intensité de la coloration développée est proportionnelle à la quantité de glucose mise en jeu.

La densité optique (DO) du mélange est lue après 10 minutes d'incubation à 505 nm. La coloration finale est stable au moins 1 heure. La quantité du glucose identifiée à 37⁰C par la formule suivante :

$$\text{Glucose} = \frac{\text{DO dosage}}{\text{DO étalon}} \times N \quad N = 1 \text{ g/L} ,$$

2.2.1.5.1.2.4. Dosage du fructose

Le dosage du fructose se fait par une méthode chimique (Réaction de Seliwanoff). Les céto-hexoses sont beaucoup moins résistants à l'action de l'acide chlorhydrique à chaud, que les aldohexoses. Ils donnent naissance à de l'hydroxy-méthyl-furfural qui entre en réaction avec la résorcine (1-3 dihydroxy-benzène) pour former un complexe coloré, en rouge (FLORKIN et DUCHATEAU, 1968). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fructose mise en jeu. La DO est lu à 420 nm.

2.2.1.5.2. Dosage des protéines

La teneur en protéines des dattes est déterminée par la méthode de LOWRY (1951) (GODON et LOISEL, 1991). La méthode est basée sur l'obtention d'un composé bleu formé par la réaction de l'acide mixte phosphomolybdotungstique (ou réaction de Folin-Ciocalteu) avec notamment les résidus de tyrosine, de tryptophane et de cystéine de la protéine. L'absorption colorimétrique développée est mesurée à 750 nm. La teneur en protéines est déterminée grâce à une courbe étalon en utilisant l'albumine sérique bovine (BSA) comme protéine de référence.

2.2.1.5.3. Dosage des fibres solubles (pectines)

Les pectines sont dosées sous forme de pectate de calcium, après extraction à l'eau chaude, puis saponification par NaOH, et précipitation par CaCl_2 en milieu acétique (MULTON, 1991). La teneur en pectine P est exprimée en pourcentage de matière sèche (Annexe 4).

2.2.1.6. Caractérisation diététique

Cette caractérisation consiste en la détermination de l'index glycémique conformément à la méthode préconisée par la FAO/OMS (ANONYME-3, 1998). Cette étape fait appel à des volontaires qui sont soumis à des tests consistant en la mesure de leur glycémie après ingestion de l'aliment de référence durant 120 minutes (1^{ère} visite) et de l'aliment test (2^{ème} visite).

2.2.1.6.1. Déroulement des tests

Les tests ont lieu au niveau d'un même laboratoire du Département des Sciences Biologiques de la FSNV, Université de Ouargla.

Avant le déroulement des tests, des recommandations sont faites aux volontaires. Ils doivent prendre la veille, un léger dîner composé d'aliments à IG bas, à une heure qui permet d'assurer qu'ils auront jeûné pendant 10 heures avant les premiers tests. Comme les réveils ont lieu d'habitude entre 6 à 7 heures du matin, les tests commencent vers 8 h, par une prise de sang basal à l'aide d'un stylo auto piqueur. Pour faciliter la circulation sanguine périphérique, on demande à chaque volontaire de passer la main sous l'eau chaude environ 5 min avant chaque prise de sang.

Lors de la première visite, 50 g de glucose sont servis et consommés par chaque volontaire. Lors de la deuxième visite, une quantité de dattes susceptibles d'apporter environ 50g de glucides est servie et consommée dans les mêmes conditions.

La lecture de la glycémie est effectuée toutes les 15 min. puis toutes les 30 min. Le décompte commence au moment où le sujet s'alimente (t_0). Ainsi, des échantillons sanguins sont prélevés à t_0 , à $t_{0+15'}$, à $t_{0+30'}$, à $t_{0+45'}$, à $t_{0+60'}$, à $t_{0+90'}$ et à $t_{0+120'}$ (DAVID, 2011).

Les prélèvements et les mesures sont répétés deux fois aussi bien pour l'aliment de référence que pour l'aliment test. Chaque volontaire doit avoir une valeur de glycémie pour le glucose et pour l'aliment test. D'autres mesures sont également effectuées : Taille, Poids, indice de masse corporelle, Glycémie à jeun (juste avant t_0), Pression artérielle ..., pour s'assurer de l'état de santé des volontaires (Annexe 5).

2.2.1.6.2. Préparation de l'aliment test

On pèse une quantité de l'aliment test correspondant à 50g de glucides en tenant compte que sa teneur en matière sèche. Par un calcul simple on détermine la quantité de l'aliment test apportant une teneur en sucre correspondant à celle de l'aliment référent.

2.2.1.6.3. Préparation de la solution de référence

Cette solution est préparée avec 50 g de glucose anhydre dans 100 ml d'eau distillée. Dans le cas de l'utilisation de la solution de glucose à 30%, nous avons pris 166.66ml ce qui correspond à 50% de glucose (Annexe 6).

2.2.1.6.4. Détermination de la glycémie

La glycémie est déterminée au moyen d'un lecteur de glycémie. Ce dernier fonctionne avec des bandelettes réactives permettant la mesure quantitative de la glycémie à partir du sang capillaire frais.

Chaque bandelette est munie d'une zone contenant des réactifs. L'application de sang sur cette zone réactive provoque une réaction chimique : test à la pyrroloquinoline quinone-glucose déshydrogénase (PQQ-GDH) avec médiateur d'oxydoréduction) se traduisant par un changement de la couleur de la zone réactive. Le lecteur calcule alors la valeur de la glycémie correspondant à la coloration obtenue.

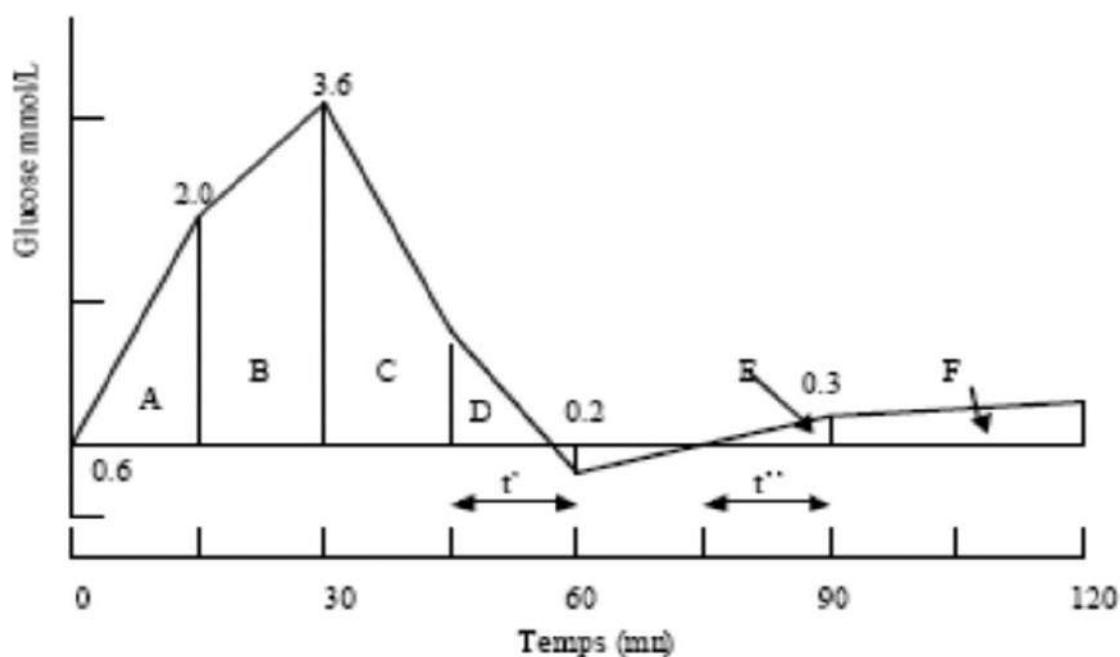
2.2.1.6.5. Calcul de l'index glycémique

L'index glycémique est un critère de classement des aliments contenant des glucides. La technique de sa détermination est basée sur l'effet de ces aliments (dattes et sirops), sur la glycémie durant les deux heures suivant leur ingestion (JENKINS *et al*, 1981). Les aliments sont classés sur une échelle selon leur capacité à élever le taux de glucose dans le sang. Par convention l'IG du glucose (ou du pain blanc) considéré comme aliment de référence, est égale à 100. Cet index est donné par le rapport de la « surface sous la courbe » correspondant à l'aliment analysé et celle de l'aliment de référence, glucose dans notre cas :

$$IG = \frac{\text{Surface sous la courbe de l'aliment (AUC}_{0-120})}{\text{Surface sous la courbe du glucose (AUC}_{0-120})} \times 100$$

AUC : area under the curve

. Le calcul de l'IG est réalisé selon le programme Matlab (trapèzes) est basé sur le calcul de la somme des aires des triangles (A, B, C, D, E, F) (Fig 6).



L'ASC est égale à la somme des aires des triangles et trapèzes : A+B+C+D+E+F

Fig. 6 - Illustration du calcul d'une aire sous la courbe (ASC) de réponse glycémique (d'après FAO/OMS, 1997).

Ainsi, on obtient pour chaque volontaire, deux courbes, l'une pour le glucose (aliment référence) et l'autre pour les dattes ou les sirops (aliment test).

2.2.1.6.6. Calcul de la charge glycémique

La charge glycémique (CG) complète parfaitement l'index glycémique, car elle tient compte de l'effet "antiglycémiant" des fibres alimentaires présentes dans l'aliment en question, ainsi que la quantité de glucides et de fibres dans une portion. La CG donne donc la quantité de glucides dits "disponibles " dans une portion (DAVID, 2011).

Elle est calculée par la formule suivante :

$$CG = \frac{IG \times TG}{100}$$

CG : Charge Glycémique

IG : Index Glycémique

TG : Teneur en Glucides

2.2.2. Sirop brut de dattes

Les dattes de la variété Ghars ont servis à l'élaboration du sirop. A titre comparatif les dattes des variétés Deglet Nour et Degla Beida ont également soumis à l'extraction du sirop afin de déterminer l'aptitude relatif de la transformation des dattes Ghars en sirop.

Les cultivars de dattes choisis dans la présente étude ont été soumis à des tests de détermination de leur aptitude à la transformation en sirops.

2.2.2.1. Extraction

La technique d'extraction comporte la préparation de l'échantillon et l'extraction des solides solubles selon les lois de diffusion par transport passif.

2.2.2.1.1. Préparation de l'échantillon

Pour avoir un produit de bonne qualité, il faut partir d'une matière première de bonne qualité. C'est la raison pour laquelle, nous avons commencé par trier, laver et ressuyer toutes les dattes. Cette opération a permis d'éliminer les dattes immatures, écrasées et celles attaquées par les oiseaux et les insectes. Les dattes sont souvent souillées par des particules de terre, des grains de sable, des poussières, des débris végétaux, des pesticides et des parasites.

Le lavage permet d'éliminer ces particules et éventuellement des restes de pesticides. Il est effectué à de l'eau de robinet. Cette opération consiste à faire tremper les dattes, dans de l'eau avec une simple agitation durant quelques secondes à une minute au plus. Le lavage des dattes est important pour l'obtention d'un produit de bonne qualité hygiénique. Les dattes subissent ensuite un ressuyage par égouttage à travers une passoire, suivi de leur exposition à l'air libre pendant une journée.

2.2.2.1.2. Procédé d'extraction des sirops de dattes

La méthode d'extraction adoptée, est inspirée de celle de l'extraction du sucre à partir de la betterave et dont le principe est basé sur le passage en solution à travers une membrane cellulosique perméable (selon les lois de diffusion par transport passif) des matières solubles du jus de la betterave (ALBERTS *et al*, 2002).

En ce qui concerne la présente étude, les sucres sont extraits par diffusion en utilisant de l'eau chaude comme solvant. Cette température a l'avantage de limiter le transfert des impuretés dans le jus des dattes. Le phénomène de diffusion est basé sur le mouvement des molécules du milieu à concentration élevée (sucres et substances solubles emmagasinés dans le tissu cellulaire) vers le milieu à faible concentration (eau chaude). Ces mouvements sont dits "passifs" car ils ne nécessitent pas d'autres forces motrices (ALBERTS *et al*, 2002).

Pour se faire l'échantillon de dattes est d'abord additionné du double de son poids en volume d'eau distillée (AL-HOOTI *et al*, 2002). La diffusion est basée sur la macération d'un volume de dattes dans deux volumes d'eau distillée à la température de 80°C durant 24 heures. Cette opération est suivie d'un tamisage (diamètre des mailles 1mm), afin de séparer le sirop, des dattes.

Ensuite, le filtrat est soumis à une concentration ou condensation. Cette opération a pour but d'éviter les altérations microbiennes du sirop et donc d'obtenir un sirop saturé avec un degré Brix compris entre 72 - 75 °Bx. Elle a lieu dans une étuve réglée à 60°C. Cette température a été utilisée pour éviter la déstabilisation des sucres (caramélisation, la formation des dérivés furfuraliques...).

2.2.2.2. Caractérisation physico-chimique

Les mêmes analyses physicochimiques effectuées sur les dattes sont réalisées sur leurs sirops.

2.2.2.3. Caractérisation biochimique

Les mêmes analyses biochimiques effectuées sur les dattes sont réalisées sur leurs sirops.

2.2.2.4. Caractérisation microbiologique

Les sirops élaborés sont soumis à des analyses microbiologiques, afin de déterminer leur qualité hygiénique. Ces analyses concernent les sirops frais et ceux stockés durant un an à 4°C.

Dans cette partie du travail, nous avons recherché la présence de germes totaux sur le milieu tryptone-glucose-extrait-agar (T.G.E.A) et de levures et moisissures sur le milieu oxytetracycline-glucose-agar (O.G.A).

2.2.2.4.1. Pré-identification des souches

2.2.2.4.1.1. Observations macroscopiques

L'examen macroscopique est effectué pour les souches obtenues. Ce test est le premier effectué après isolement de la souche (BENT MOHAMED et SIDI BABAT, 2007). Il porte sur la description suivante : la taille, la forme, l'aspect de la surface, la coloration et l'opacité.

2.2.2.4.1.2. Observations microscopiques

Des examens à l'état frais de prélèvement de colonies sont réalisés avec le microscope optique (grossissement 1000 à immersion).

2.2.2.5. Détermination de l'index glycémique

Les mêmes étapes effectuées pour le calcul de l'index glycémique de dattes sont réalisées pour leurs sirops.

2.2.3. Transformation des sirops bruts de dattes

Pour améliorer la qualité diététique du sirop brut de dattes, afin de rapprocher sa composition glucidique de celle des sirops à haute teneur en fructose (HFCS) et/ou abaisser son IG, nous avons adopté deux voies.

2.2.3.1. Première voie : cristallisation du glucose

En milieu concentré et après un certain temps de stockage, le glucose en solution

arrive à cristalliser (MULTON, 1991 ; BIMBENT *et al.*, 2007), ce qui n'est pas le cas pour le fructose. En effet, la solubilité du fructose dans l'eau est plus élevée que celle du glucose, donc sa cristallisation en milieu aqueux est très difficile. L'objectif de cette partie de nos investigations, est de pouvoir exploiter ces propriétés (PROST, 1977 ; MULTON, 1991 ; ROSALEN *et al.*, 1996 ; RICHARD et SHASTRY, 1999 ; LABUZA et LABUZA, 2004 ; BIMBENT *et al.*, 2007) afin d'éliminer le plus possible, le glucose du sirop brut de dattes. Des constations similaires observées fortuitement (MIMOUNI, 2009) nous ont encouragé dans cette voie. Celle-ci comporte deux étapes : un stockage du sirop à 4°C et puis une séparation des fractions cristallisée et non cristallisée.

2.2.3.1.1. Refroidissement des sirops et cristallisation du glucose

La transformation dextrose amorphe -dextrose cristalline s'effectue après environ 70 jours de stockage à 4°C si l'humidité du produit est voisine de 12% (MULTON, 1992 ; BIMBENT *et al.*, 2007). Sur la base de ces données, les sirops bruts élaborés lors de cette étude et repartis dans des tubes de 10 ml, ont été placés à 4°C pour une durée supérieure à 70 jours.

2.2.3.1.2. Elimination du glucose

La séparation de la partie cristallisée est réalisée par filtration à travers une passoire dont l'ouverture des mailles est égale à 1 mm.

La fraction cristallisée est lavée avec de l'eau refroidie à 4°C.

La taille des cristaux est déterminée à l'aide d'un pied à coulisse.

2.2.3.1.3. Caractérisation des deux fractions

Après la séparation de deux fractions, nous avons soumis ces dernières à une caractérisation qualitative (CCM) et quantitative des sucres dans l'objectif d'étudier l'efficacité de cette méthode par rapport aux méthodes utilisées pour la fabrication des sirops à haute teneur en fructose (HFCS).

Les cristaux obtenus sont soumis à une caractérisation morphologique (forme, taille), à l'aide d'un pied à coulisse.

La fraction non cristallisée a été soumise à la détermination de l'IG

2.2.3.2. Deuxième voie : Addition d'une source protéinique (spiruline)

Les propriétés nutritionnelles et thérapeutiques de la spiruline font d'elle une source alimentaire qui mérite une attention particulière pour son développement dans notre pays (BENAHMED, 2012).

Grâce à ses qualités nutritionnelles exceptionnelles, sa facilité de culture, sa haute productivité et son faible coût de production par rapport aux autres produits aquacoles, elle a été proposée dans l'alimentation humaine comme un supplément alimentaire par plusieurs scientifiques et nutritionnistes (BRANGER *et al.*, 2003).

L'addition d'une source de protéines a pour objectif l'abaissement de l'IG des sirops expérimentaux de dattes et d'augmenter la qualité diététique du sirop de dattes.

A cet effet, nous avons procédé à l'enrichissement des produits par de la poudre de spiruline à raison 1 – 2%. Ensuite, nous avons déterminé l'IG selon la méthode décrite précédemment.

Pour se faire, 62.84 g de sirop brut, correspondant à 50g de glucides, et complémenté par de la poudre de spiruline (1 et 2%) ont servi pour la détermination des IG (Photo 4).



A

B

C

Photo. 4 - Formules alimentaires préparées. A : sirop brut (témoin), B : sirop brut complémenté avec 1% de spiruline et C : sirop brut complémenté avec 2% de spiruline

2.2.4. Analyse statistique

Pour le traitement statistique des données, nous avons utilisé le logiciel STATITCF. Le programme Matlab a été utilisé pour tracer les courbes et calculer IG.

III. Résultats et discussion

3.1. Dattes

3.1.1. Caractérisation morphologique

Les caractéristiques morpho-métriques des trois variétés de dattes étudiées sont les résultats de la moyenne de 5 répétitions. Les dattes présentent selon la variété considérée des caractéristiques morpho-métriques différentes (Tableau IX).

* La longueur des dattes varie entre $2.76 \text{ cm} \pm 0.15$ (Deglet Nour) à $4.4 \text{ cm} \pm 0.16$ (Ghars). Les dattes de la variété Degla Beida présentent une taille de l'ordre de $3.70 \text{ cm} \pm 0.16$.

*Les dattes se caractérisent par des diamètres qui varient de $1.03 \text{ cm} \pm 0.01$ pour la variété demi-molle (Deglet Nour) à $2.23 \text{ cm} \pm 0.11$ pour la variété Ghars. La variété Degla Beida a un diamètre de l'ordre de $1.50 \text{ cm} \pm 0.06$ (Fig.7).

* Le poids des dattes varie entre $6.62 \text{ g} \pm 0.45$ pour la variété Degla Beida à $9.84 \text{ g} \pm 0.20$ pour la variété Ghars. Celui des dattes Deglet Nour est égal à $7.40 \text{ g} \pm 0.54$. D'après DOWSON et ATEN (1963), le poids de la datte peut varier de 2 à 6 g. MUNIER (1973), note que la variété Déglat-Nour d'Algérie, présente un poids d'environ 10g.

* La datte Ghars est plus charnue. Elle pèse $8.94 \text{ g} \pm 1.27$, par rapport aux dattes Deglet Nour ($6.85 \text{ g} \pm 0.54$) et Degla Beida ($5.66 \text{ g} \pm 0.45$).

* Le poids de la graine varie entre $0.55 \text{ g} \pm 0.10$ pour la variété Deglet Nour et $0.9 \text{ g} \pm 0.19$ pour la variété Ghars. Celui de la variété Degla Beida est égale à $0.96 \text{ g} \pm 0.17$ (Fig.8).

Dans ce contexte, plusieurs études ont été consacrées à la caractérisation physique des dattes (MELGI et SOURIAL, 1982 ; MOHAMMED *et al.*, 1983). D'après les résultats rapportés, l'état de fraîcheur de la datte serait conditionné par les critères suivants :

- un poids supérieur ou égal à 6 g ;
- une longueur supérieure ou est égale à 3.5 cm ;
- un diamètre supérieur ou égal à 1.5 cm.

Selon ces critères, les dattes des variétés étudiées présentent de bonnes caractéristiques morpho-métriques.

* Le rapport noyau/datte est égal à $9.14\% \pm 2.40$, $14.50\% \pm 2.88$ et $7.43\% \pm 1.40$ respectivement pour les dattes de la variété Ghars, Degla Beida et Deglet Nour. Ce rapport représente un moyen d'appréciation de la qualité commerciale des dattes (DOWSON et ATEN, 1963). Il dépend des variétés de dattier, mais aussi des facteurs écologiques et des conditions de culture (MUNIER, 1973). Un rapport faible est un indicateur de la bonne qualité de la variété.

Ainsi, celui de la variété Deglet Nour et Ghars correspond aux normes cités par MUNIER, (1973) qui sont entre 8 à 12 %. Ces dattes sont par conséquent plus intéressantes sur le plan qualité commerciale par rapport à la variété Degla Beida.

* Le rapport pulpe/datte, permet également de caractériser les dattes. Il est égal à $92.56\% \pm 1$, $90.85\% \pm 2.39$ et $85.49\% \pm 3.05$ respectivement pour les dattes de la variété Deglet Nour, Ghars et Degla Beida (Fig.9). Le meilleur rapport est celui des dattes Deglet Nour car c'est le plus élevé. Sa valeur justifie la bonne qualité commerciale de cette variété.

Tableau IX- Caractérisation morphologique des dattes

Caractéristiques morphologiques	Ghars	Deglet Nour	Degla Beida
Forme du fruit	Allongée	Ovoïde ou droite	Ovoïde ou droite
Couleur au stade tmar	Brun-foncé	Ambrée	Blanc-jaunâtre
Aspect de l'épicarpe	Plissé	Très variable	Variable
Epaisseur de l'épicarpe	Epais	Epais	Epais
Consistance	Molle	Demi-molle	Sèche
Plasticité	Tendre	Tendre, élastique	Dure
Texture	Fibreuse	Fibreuse	Farineuse
Goût	Parfumé	Parfumé	Acidulé

3.1.2. Caractérisation physico-chimique

Il est bien connu que la composition de la matière première influe significativement sur la qualité du produit fini. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés à la caractérisation physico-chimique des dattes ayant fait l'objet du présent travail.

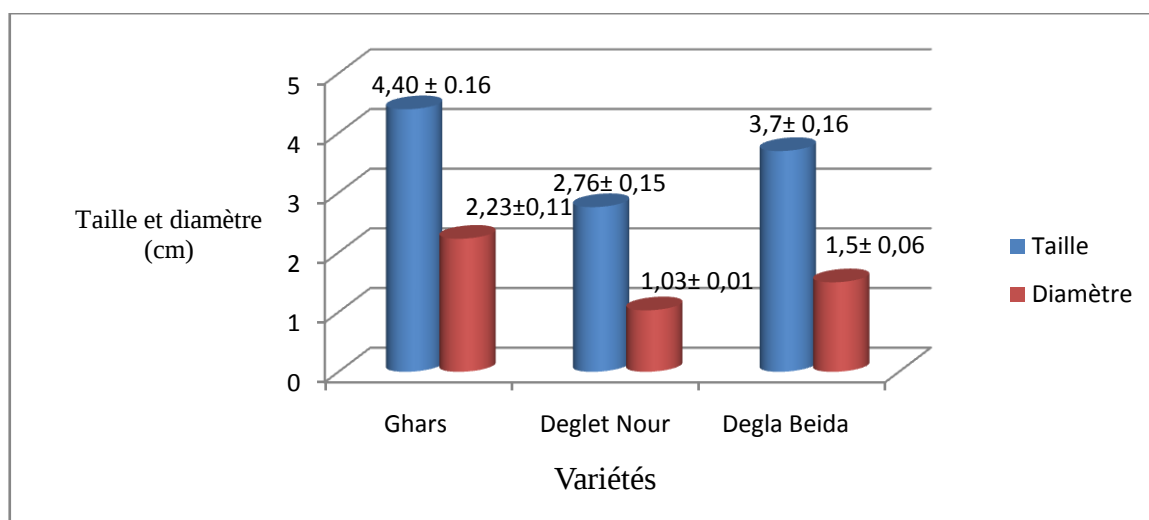


Fig. 07- Taille et diamètre des trois variétés de dattes

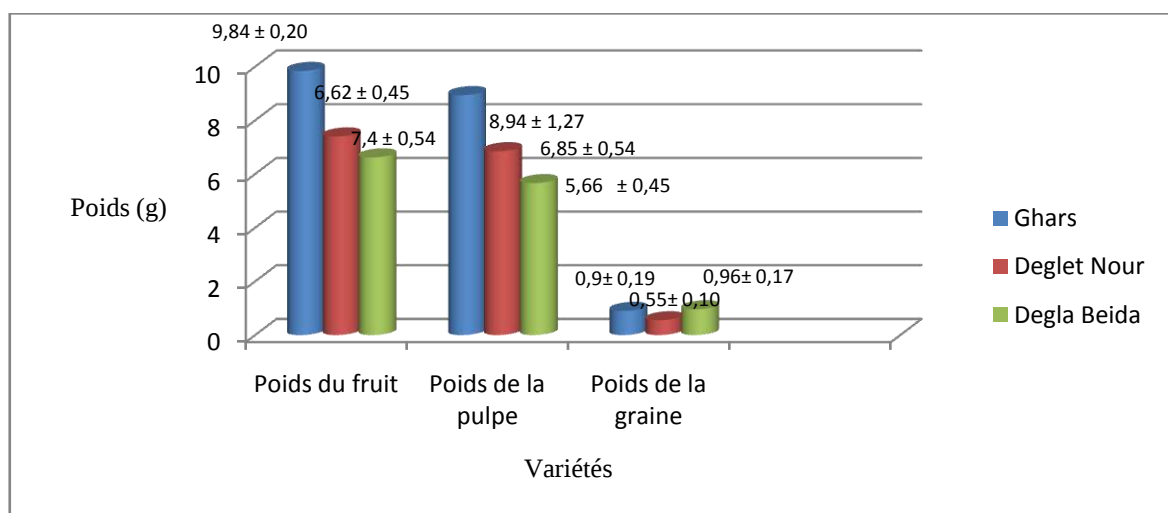


Fig. 08- Poids du fruit, de la pulpe et de la graine des trois variétés

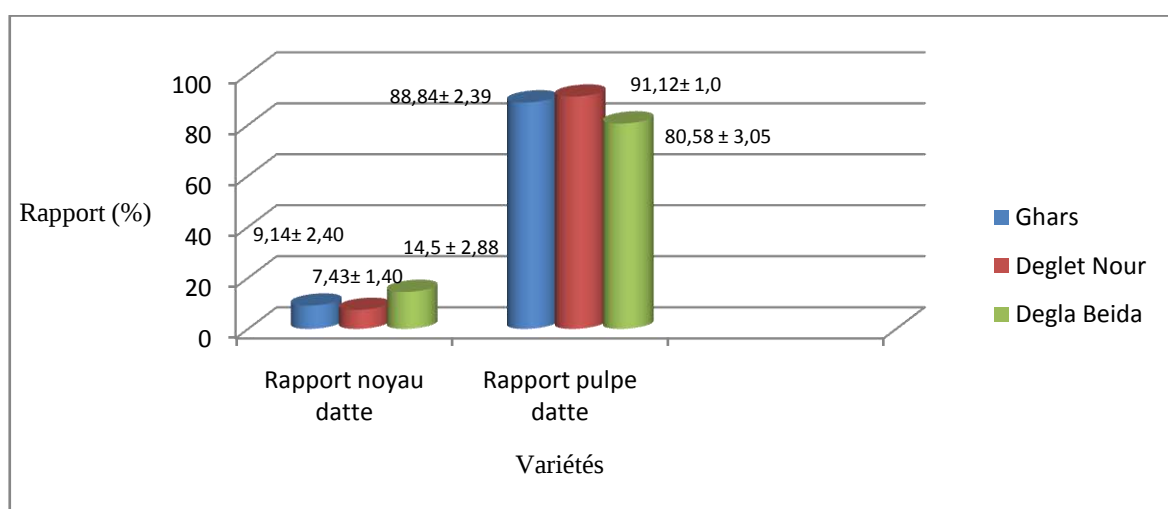


Fig. 09- Rapports noyau /datte et pulpe /datte des trois variétés

3.1.2.1. pH

Le pH des dattes varie suivant les stades de développement de la datte (AL-FARSI *et al.*, 2005 ; KULKARNI *et al.*, 2008 ; IQBAL *et al.*, 2011). Les résultats obtenus montrent que le pH des trois variétés de dattes étudiées se situe entre 4.85 ± 0.03 et 5.78 ± 0.01 (Fig.10). Ces valeurs se rapprochent de celles rapportées par SIBOUKEUR (1997), et qui oscillent entre 5.18 à 5.60. Des résultats comparables ont été enregistrés par GANBI (2012), montrent que la pulpe de datte au stade de maturation complète (Tmar) présente un pH de l'ordre de 5.65. AL-GBOORI et KREPL (2010), signalent dans le cas de quatre variétés irakiennes (Hallawi, Sayer, Khadrawi et Zahdi), des valeurs de pH situent entre 5.60 - 6.70. Cependant, FOROUZAN *et al.* (2012), rapportent des pH relativement bas valeurs entre 3.66 à 5.06.

Les valeurs de pH enregistrées pour les variétés étudiées sont défavorables au développement des bactéries, mais favorable à la prolifération des levures et moisissures. Ceci est intéressant dans la mesure où la datte toute variété confondue ne peut constituer un milieu favorable aux bactéries pathogènes. Le pH constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (GIDDEY, 1982). Un pH de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures et moisissures. Rappelons ici que les altérations par les microorganismes affectent surtout la qualité organoleptique (BOURGEOIS *et al.*, 1988 et GUIRAUD, 2003). Sous certaines conditions, elles peuvent provoquer une production de mycotoxines ce qui rend dangereux leur consommation.

3.1.2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique est liée à la teneur en matière ionisable dont la matière minérale en constitue l'essentiel. Elle dépend de la nature des ions dissous et leurs concentrations (REJSEK, 2002).

La conductivité électrique de dattes étudiées, est égale à 2.69 ± 1.55 , 3.37 ± 0.66 et $3.80 (\mu\text{S}/\text{cm}) \pm 0.37$ respectivement pour les dattes Ghars, Deglet Nour et Degla Beida (Fig.10). Ces valeurs semblent se rapprocher de celles citées par SIBOUKEUR (1997) ($2 \mu\text{S}/\text{cm}$). Selon HUSSEIN et HUSSEIN, (1983), la fertilisation du sol aurait une influence sur la composante minérale. La nature de l'eau d'irrigation en est également responsable (BACHA et ABO-HASSAN, 1983).

3.1.2.3. Teneur en eau

La teneur en eau d'une matière première est une donnée importante pour le processus de sa transformation. Dans le cas des dattes, elle est sensiblement variable selon le cultivar considéré.

Selon les normes FAO (2007), l'humidité requise pour la commercialisation des dattes en l'état serait égale à 26 %. Les résultats obtenus lors de la présente étude montrent des teneurs qui sont égales $11.85\% \pm 0.74$ (Degla Beida), $13.61\% \pm 0.74$ (Deglet Nour) et $16.42\% \pm 0.73$ (Ghars) (Fig.11). Les valeurs relevées semblent plus faibles par rapport à celles rapportées par MUNIER, (1973), soit 30% et 25% pour la variété Ghars et Deglet Nour respectivement. Elles concordent toutefois avec ceux rapportés par GANBI (2012), pour une variété Saoudienne soit 13.69%. AL-GBOORI et KREPL (2010), ont cité des valeurs plus faibles par rapport à ceux mentionnées précédemment, variant entre 7.30 – 9.50 %.

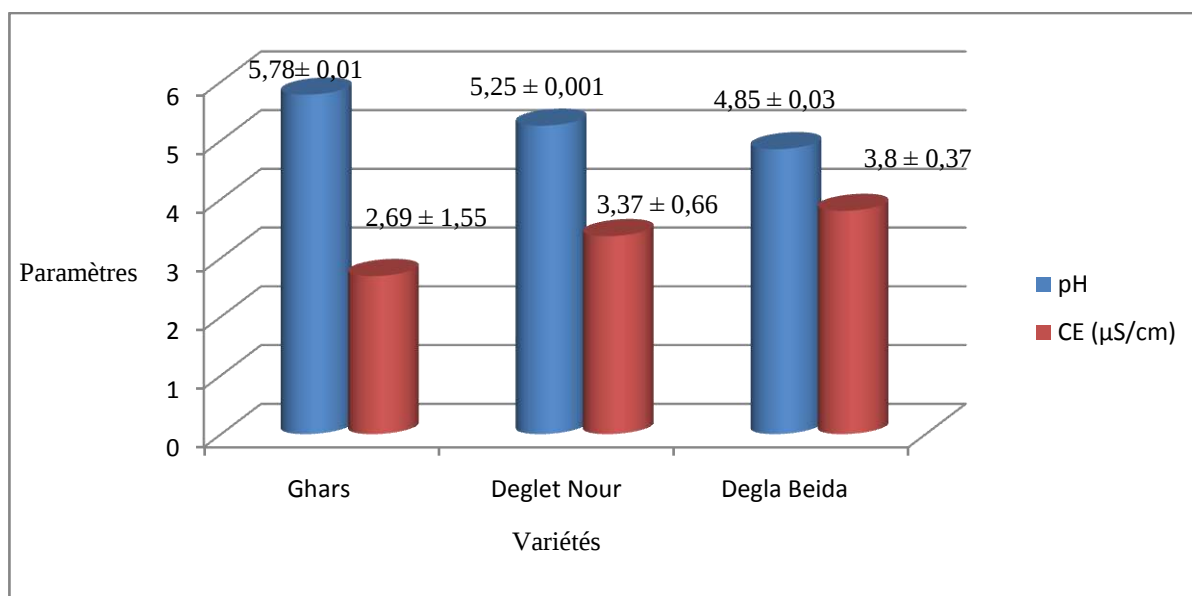


Fig. 10- pH et conductivité électrique des trois variétés de dattes

3.1.2.4. Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche pour les dattes étudiées est égale à $88.18\% \pm 0.74$, $86.44\% \pm 0.70$ et $83.57\% \pm 0.73$ pour les dattes Degla Beida, Deglet Nour et Ghars respectivement (Fig. 11). Ces valeurs sont proches de celles indiquées par AL-EID (2006), à savoir 86.5% pour la variété Alkhellas et AL-GBOORI et KREPL (2010) (80.80 – 84.20%) pour quatre variétés étudiées. Par contre, elles sont supérieures à celle citée par MEKKI et *al.* (1983)

(78%). Cette augmentation peut être expliquée par la diminution de la teneur en eau de la datte, elle-même, cette dernière dépendant de volume d'irrigation.

Les résultats obtenus indiquent que le taux de matière sèche pour les trois variétés étudiées est élevé par rapport à celui cité par SIBOUKEUR (1997) (59 à 75%) pour des dattes molles.

3.2.2.5. Teneur en cendres

Des teneurs en cendres égales à $2.10\% \pm 0.36$, $2.10\% \pm 0.10$ et $4.00\% \pm 0.26$ respectivement correspondent aux dattes, Deglet Nour, Ghars, Degla Beida (Fig. 11). Ces valeurs se situent dans la fourchette rapportée par SAWAYA (1983) (2 et 4%) pour des variétés saoudiennes et irakiennes. De nombreux auteurs, dont MAHTALLAH, (1970) ; MUNIER, (1973) ; SIBOUKEUR, (1997) ; AL-EID (2006) ; AL-GBOORI et KREPL (2010) ; GANBI (2012) ; ..., s'accordent sur le fait que la datte renferme des teneurs en cendres de l'ordre de 2 %.

3.2.2.6. Eléments minéraux

Le corps humain et le cerveau contiennent des quantités parfois énormes de macroéléments, les oligo-éléments sont présents en quantités variables, mais leur importance physiologique ne peut être déduite de la simple estimation de leurs faibles quantités (WEIL *et al.*, 1997).

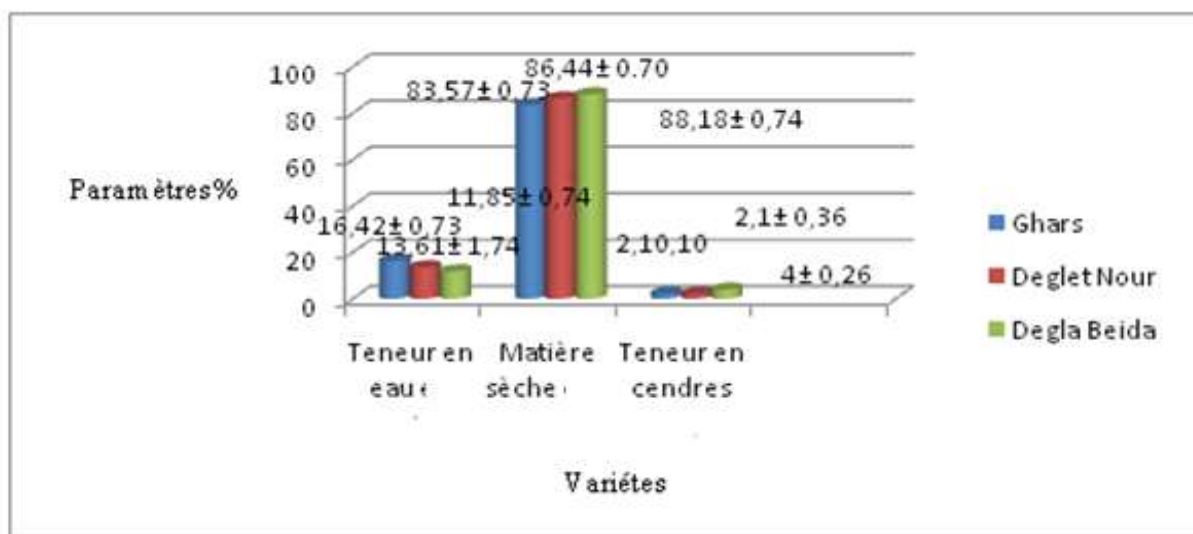


Fig. 11- Teneur en eau, teneur en Matière sèche et teneur en cendres des dattes

La pulpe de dattes présente une teneur élevée en matière sèche (83.57 – 88.18%) indiquant sa richesse en substances dont les minéraux (Tableau X).

Une étude réalisée par AL-EFARSI et LEE (2008) a montré, que les dattes renfermaient plus de 13 éléments minéraux dont le Br, le Ca, le Co, le Cu, le F, le Fe, le Mg, le Mn, le K, le P, le Na, le Zn et le Se. Dans la présente étude, nous relevons la présence de 7 éléments qui nous avons dosé. Il s'agit du Fe, Mg, Ca, Cl, K, Zn, Na. AL-GBOORI et KREPL (2010), ont analysé six éléments pour les quatre variétés citées précédemment, ils ont trouvé des valeurs appréciables en éléments minéraux à savoir : Ca (133 – 203 mg /100g), P (13 – 16 mg/100), K (833 – 894 mg/100), Na (5 – 16 mg/100), Cl (260 – 342 mg/100) et Mg (56 – 60).

Tableau X : Teneur de quelques éléments minéraux des trois variétés de dattes (mg/100g) de la pulpe fraîche

Eléments Variété	Fe	Mg	Ca	Cl	K	Zn	Na
Ghars	41,22±12,61	36,07±0,09	9,59±0,57	187,53±20,32	36,2±8,20	3,29±0,14	50±0,01
Deglet Nour	46,09±5,79	37,10±0,14	13,14±5,5	222,27±44,24	48,27±122	4,0±0,26	49,8±0,1
Degla Beida	39,32±16,83	30,31±0,43	12,13±7,6	181,66±10,16	48,1±21,2	3,22±1,56	49±0,03

La teneur en Ca est relativement faible comparativement aux résultats cités par AL-GBOORI et KREPL (2010). Ceci peut être du à une extraction incomplète.

AL-SHAHIB et MARSHALL (2003), affirment que la datte contient des teneurs en éléments minéraux variant entre 0.1 à 1000 mg pour 100 g de matière sèche. Les résultats que nous avons obtenus se situent dans la fourchette citée par ces derniers. Les dattes, toute variété confondue, représentent donc une bonne source de minéraux tant qualitative que quantitative.

3.1.3. Caractérisation biochimique

3.1.3.1. Glucides

De nombreux auteurs, dont MUNIER (1973) ; SAWAYA *et al.* (1983) ; FOROUZAN *et al.* (2012) ; EL HADRAMI et AL-KHAYRI (2012), ayant travaillé sur plusieurs variétés de

dattes affirment que les sucres des dattes varieraient en fonction de la variété, du pollen, du stade de maturation et du climat.

La nature des sucres varie aussi, en fonction de la consistance de la datte. Les variétés sèches des dattes renferment des teneurs élevées en saccharose. Par contre, les variétés molles sont très riches en sucres réducteurs, les variétés demi molles renferment, autant de saccharose que de sucres réducteurs (SIBOUKEUR, 1997 ; ELLEUCH *et al.*, 2008).

Plusieurs auteurs signalent que les dattes renferment des teneurs importantes en sucres totaux. A savoir : AL-EID (2006) (81%) ; (MIMOUNI (2009) (67.33 à 71.79%) ; AL-GBOORI et KREPL (2010) (86.10 – 87.91 %).

En général, les résultats rapportés par différents auteurs dépendent en partie de la méthode d'analyse utilisée. Néanmoins, tous s'accordent à dire que les teneurs en sucres totaux des dattes sont de l'ordre de 60 à 80% de la pulpe.

La proportion des sucres réducteurs des dattes varie en fonction de la variété étudiée. Des résultats ont été évoqués par ELLEUCH *et al.* (2008), d'après leur étude sur deux variétés tunisiennes (Deglet Nour et Allig) de consistance différente (demi-molle et molle). Ils ont enregistré des valeurs variables en sucres réducteurs, à savoir 27 % et 59% pour la variété Deglet Nour et Allig respectivement. Cependant, la teneur en sucres réducteurs concernant variétés algériennes Deglet Nour (demi-molle), Degla Beida (sèche) et Ghars (molle) fluctue entre 13 et 70% (MIMOUNI, 2009). En outre, SAWAYA *et al.* (1983) ayant travaillé sur des variétés saoudiennes rapportent, des teneurs en sucres réducteurs de dattes, au stade tmar, déterminées par chromatographie comprises entre 37.6 - 58%. Des travaux réalisés par SIBOUKEUR, (1997) sur le dosage des sucres de la variété Ghars au même stade tmar par un auto-analyseur (SKALAR), ont montré que la teneur en sucres réducteurs est égale 62.41%.

Les valeurs évoquées par AL-GBOORI et KREPL (2010) sont de l'ordre de 73.40 – 82.70 %, ce qui montre que leur matériel d'étude est composé des variétés molles.

Les dattes sèches contiennent un taux élevé de saccharose par rapport aux dattes molles et demi-molle (ELLEUCH *et al.* 2008) (53%) ; (MIMOUNI, 2009) (44.82%). Ceci peut être dû à la faible teneur en eau qui constitue un milieu défavorable pour l'activité de l'invertase contrairement à la variété molle et demi molle.

3.1.3.2. Teneur en protéines

Les protéines représentent un nutriment important pour le fonctionnement, la structure et l'entretien de l'organisme.

La teneur en protéines des dattes varie entre $0.81\% \pm 0.07$ et $1.10\% \pm 0.04$ (Fig.12). Toutefois, AL-GBOORI et KREPL (2010) rapportent des valeurs de l'ordre de 2.78 %. Des travaux réalisés par ALKAABI *et al.* (2011), sur cinq variétés saoudiennes, montrent que les dattes renferment une teneur en protéines oscillant entre 1.16 à 1.62%. Nos résultats se rapprochent de ceux cités ci-dessus.

Ces résultats sont comparables à ceux trouvés dans la littérature qui situent le taux de protéines entre 0.90 – 2 % (MUNIER, 1973 ; SAWAYA *et al.*, 1983 ; SIBOUKEUR, 1997 ; AL-EID, 2006 ; ELLEUCH *et al.*, 2008 ; ALKAABI *et al.*, 2011).

Ces teneurs, bien que faibles ne sont pas négligeables, car les protéines des dattes sont qualitativement bien équilibrées (EL-OGAIDI, 1987). Elles sont en effet riches en 6 acides aminés indispensables (lysine, valine, isoleucine, leucine, thréonine et tryptophane) parmi les huit acides aminés (IBRAHIM et KHALIL, 1997). Les besoins en ces acides aminés sont proportionnellement plus élevés chez l'enfant que chez l'adulte, et ils sont particulièrement importants chez le nourrisson, l'absence d'un seul de ces acides aminés essentiels empêche la synthèse protéique et provoque une perturbation métabolique. C'est la raison pour laquelle la consommation des dattes est recommandée aux enfants de bas âge.

3.1.3.3. Teneur en fibres (pectines)

La teneur en fibres des dattes étudiées fluctue entre 3.90 % et 4.15% (Fig. 12). Ces valeurs sont supérieures comparativement à celles enregistrées par AL-EID (2006), à savoir 1.8% pour la variété Alkellas. Néanmoins, l'étude réalisée par ELLEUCH *et al.* (2008) sur deux variétés tunisiennes Deglet Nour (14%) et Allig (18%), ont enregistré des valeurs très élevées comparativement à ceux citées par la littérature : AHMED *et al.* (1995) ; AL-SHAHIB et MARSHALL (2003), ont enregistré des valeurs entre 6.4 et 11.5%. GAMAL *et al.* (2009) ont quant à eux rapport des valeurs intermédiaires par rapport aux valeurs citées précédemment (5 – 8%).

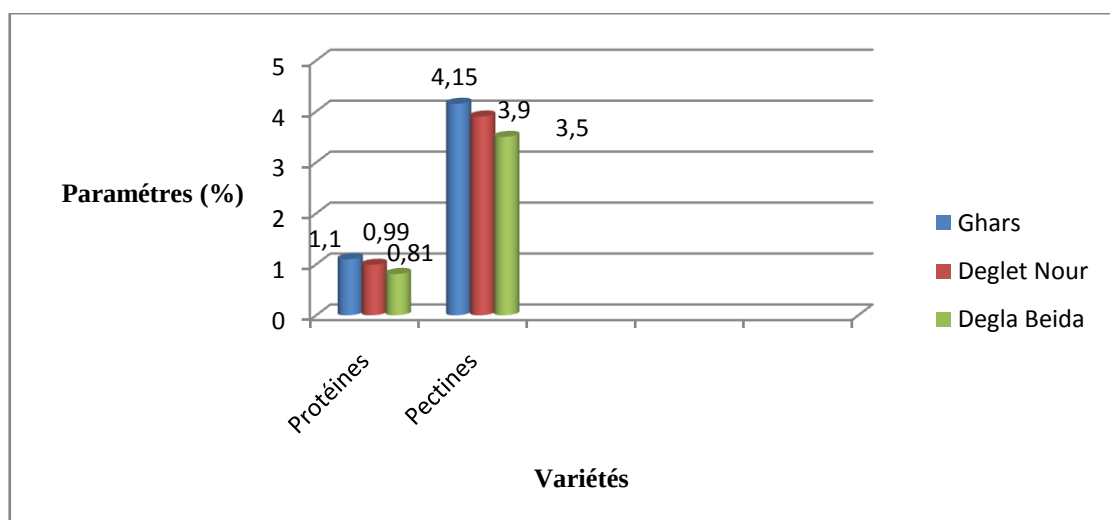


Fig. 12- Paramètres biochimiques des trois variétés de dattes

3.1.4. Détermination de l'index glycémique

La détermination de l'IG repose sur une hyperglycémie provoquée avec l'aliment de référence (glucose) et l'aliment test (dattes) et le suivi de l'évolution de la glycémie durant 120 min. conformément aux recommandations de la FAO/OMS. Les sujets retenus pour ces tests doivent être sains, non diabétiques.

3.1.4.1. Sélection des sujets

La sélection se fait sur la base de leur glycémie à jeun. Les indices biologiques des 35 volontaires sont reportés dans le tableau XI.

La glycémie à jeun portée sur le tableau XI représente la moyenne des moyennes de deux résultats obtenus pour chaque sujet. Elle est égale à $0.97 \text{ (g/l)} \pm 0.05$. L'âge moyen de cette cohorte humaine est égal à $22.14 \text{ ans} \pm 0.13$, son poids moyen égal à $55.9 \text{ kg} \pm 5.49$, sa taille à $1.63 \text{ m} \pm 0.034$ et son indice de masse corporelle (IMC) est de l'ordre de $21.21 \text{ kg/m}^2 \pm 0.08$. Les résultats obtenus montrent que tous les volontaires sont en bonne santé et non diabétiques. Ils ont, pour cette raison, été sélectionnés prendre part aux tests relatifs à la détermination de l'IG des dattes (Tableau XI).

La valeur normale de glycémie varie entre 0.70 g/l et 1.10 g/l (ou 3.9 mmole/l et 6.10 mmole/l). On parle de diabète lorsque la glycémie est supérieure à 1.26 g/l à jeun (7 mmole/l) contrôlée au moins à deux reprises. On est également diabétique si, quelque soit le moment de

la journée, la glycémie est supérieure ou égale à 2g/l au moins à deux reprises (SNOW et O'DEA, 1981 ; GRIMALDI et HEURTIER, 1999).

Tableau XI- Indices biologiques des volontaires

Caractéristiques	Moyenne (n = 35)	Ecart type
Age (ans)	22.14	0.134
Poids (Kg)	55.9	5.49
Taille (m)	1.63	0.034
IMC (Kg/m ²)	21.21	0.08
Glycémie à jeun (g/l) (avant t ₀)	0.97	0.05

IMC : Indice de masse corporelle

3.1.4.2. Evolution de la glycémie des sujets sélectionnés

Les aliments glucidiques sont responsables de l'élévation de la glycémie et de la sécrétion de l'insuline.

L'évolution de la glycémie après ingestion de l'aliment de référence et les dattes a été suivie durant 120min. Les résultats sont illustrés sur la figure 13 (Annexe 6).

L'évolution de la glycémie provoquée par l'ingestion du glucose montre une différence significative par rapport aux quatre variétés étudiées ($F = 3.69$; $p = 0.015$; $F = 2.69$), ceci peut être justifié par la différence de la composition biochimique des deux aliments tests (glucose et dattes).

Au temps $t_0 + 15$ min. on note une différence non significative ($F = 2.04$; $p = 0.25$) entre la variété Ghars, Deglet Nour, Degla Beida et Addela. Au $t_0 + 30$ min. la différence non significative ($F = 1,57$; $p = 0,327$) a été enregistrée entre Ghars, Deglet Nour, Degla Beida et Addela. On remarque également, à $t_0 + 45$ min. une différence non significative ($F = 2,46$; $p = 0,138$) entre les quatre variétés. En outre, à $t_0 + 60$ min. nous avons enregistré une différence non significative ($F = 6,97$; $p = 0,013$) entre les quatre variétés étudiées. Pour l'ensemble de dattes testées, des différences non significatives sont enregistrées entre 90 et 120 min ($F = 5,29$; $p = 0,027$).

Globalement, nous avons constaté la même évolution de la glycémie après ingestion des dattes des variétés étudiées.

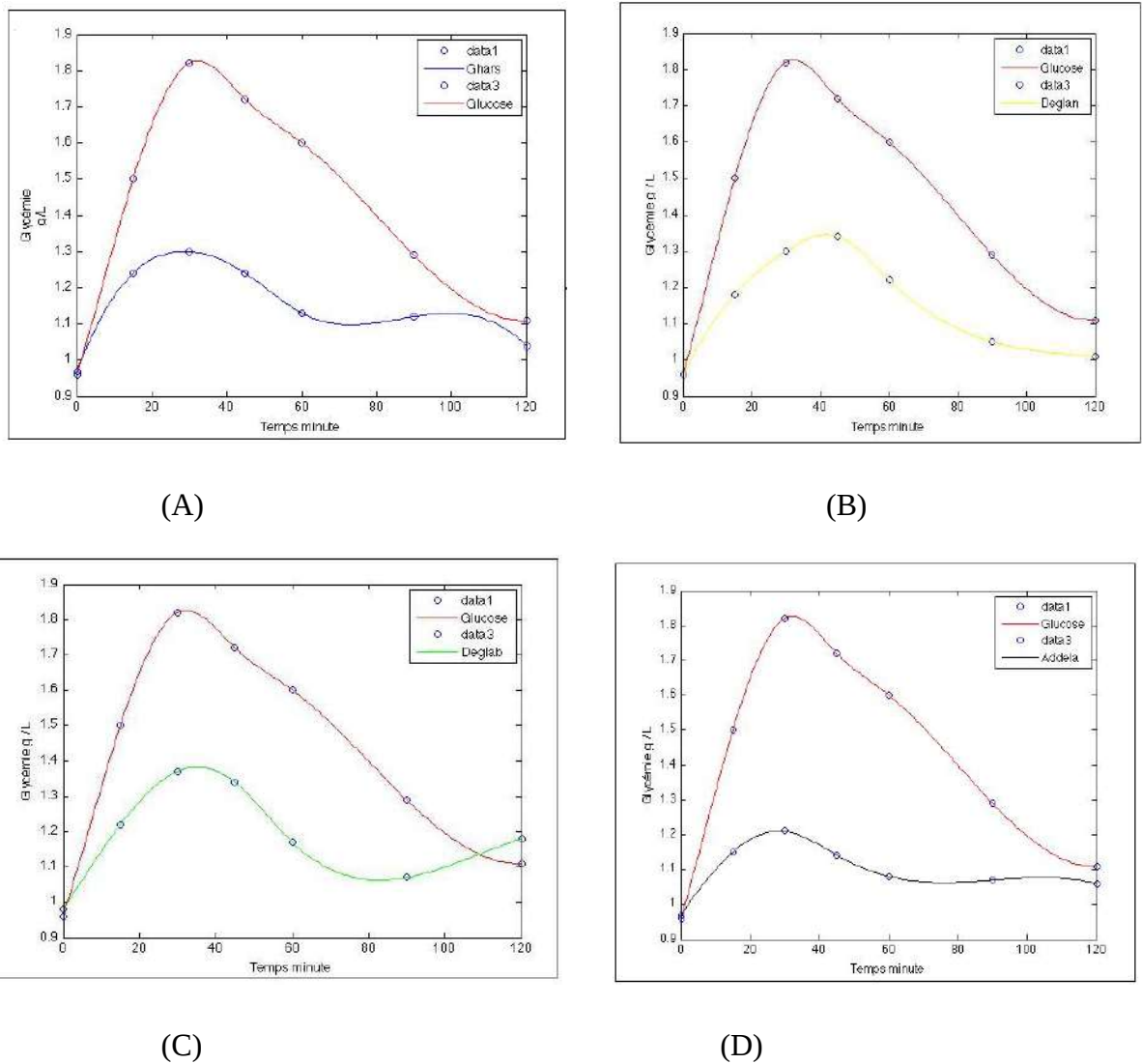


Fig. 13- Evolution de la glycémie (g/l) après ingestion de l'aliment de référence (glucose) et les dattes des quatre variétés testées (A. Ghars, B. Deglet Nour, C. Degla Beida et D. Addela)

3.1.4.3. Pics hyper-glycémiques et post-prandiales

Le tableau XII indique les valeurs moyennes de la glycémie obtenue après ingestion de chacune des quatre variétés de dattes.

Pour l'ensemble des aliments, les pics hyper-glycémiques se situent à t_{0+30} min. excepté la variété Deglet Nour qui a enregistré un pic d'hyperglycémie à t_{0+45} min. Ce pic est considéré comme relativement tardif par rapport aux pics précédents (Tableau XII).

Ces résultats sont comparables à ceux évoqués par HLEBOWICZ *et al.* (2009). Ces derniers montrent que le pic d'hyperglycémie moyen pour dix sujets sains après l'ingestion d'un repas contenant le pain de seigle entier et le pain blanc se situait au bout de 30 min.

GUNNERUD *et al.* (2012), ont montré des pics d'hyperglycémie pour les aliments préparés à base du lait (humain et bovin) au t_{30} min.

Tableau XII : Valeur moyenne de la glycémie (g/l) enregistrée durant les 120 min. après consommation des aliments

Temps Aliment	T ₀	T ₀ +15	T ₀ +30	T ₀ +45	T ₀ +60	T ₀ +90	T ₀ +120
Glucose	0.96 ±0.007	1.50 ±0.10	1.82± 0.25	1.72±0.23	1.6 ±0.21	1.29±0.06	1.11±0.2
Dattes Ghars	0.97±0.04	1.24±0.14	1.30±0.20	1.24±0.10	1.13±0.08	1.12±0.14	1.04±0.08
Dattes Deglet Nour	0,96 ±0.4	1,13±0.14	1,30 ±0.14	1,34±0.19	1,22±0.14	1,05±0.11	1,01±0.1
Dattes Degla Beida	0,98±0.07	1,22±0.09	1,37 ±0.10	1,34±0.12	1,17± 0.11	1,07± 0.08	1,18± 0.11
Dattes Addela	0,97±0.04	1,15±0.03	1,21±0.12	1,14±0.14	1,08±0.08	1,07±0.02	1,06±0.08

Tous les aliments contenant des glucides n'induisent pas la même réponse glycémique et insulinémique au sein de l'organisme. Un aliment possédant un pic d'hyperglycémie précoce présente un problème majeur pour les diabétiques car la sécrétion de l'insuline survient après le pic d'hyperglycémie et ne permettra pas la coïncidence entre la réponse post-prandiale et la sécrétion de l'insuline (GARCIN *et al.*, 2001). En ce qui concerne les tests que nous avons effectué, la sécrétion de l'insuline a lieu avant T₀ + 15 suite à l'ingestion du glucose (glycémie égale 1.5g/l > 1.26g/l). Ce qui n'est pas le cas pour les dattes avec lesquelles le pic est obtenu relativement plus tard à T₀ + 30 (glycémie égale 1.21g/l et 1.37g/l). Ceci est intéressant dans la mesure où la sécrétion d'insuline coïncide avec la réponse post-prandiale, ce qui justifie l'allure des courbes (Fig. 14). Cet aspect positif dans le cas des dattes aurait pour origine l'action bénéfique sur la glycémie des fibres, contenues dans ce cas, dans les dattes.

Chez un diabétique, la différence observée entre la glycémie post-prandiale et la glycémie à jeun appelée « excursion ou incrément post-prandiale » ou encore le delta post-prandiale est un bon marqueur de la glycémie. Une excursion post-prandiale normale doit être comprise entre 0.3 et 0.5. Dans le cas du présent travail, le delta post-prandiale calculé pour les dattes Ghars et les dattes Degla Beida sont relativement bas (0.07 et 0.2 respectivement).

Le pic d'hyperglycémie atteint avec le glucose pur à t_{0+30} min. est égale à $1.82 \text{ g/l} \pm 0.25$. Le glucose pur étant un sucre simple, son absorption qui est facile, s'accompagne d'un pic hyperglycémique précoce et intense. En revanche, les pics d'hyperglycémie des dattes des variétés Ghars, Degla Beida et Addela atteints à t_{0+30} min. sont égaux à $1.30 \text{ g/l} \pm 0.20$, $1.37 \text{ g/l} \pm 0.14$ et $1.2 \text{ g/l} \pm 0.10$ respectivement. Un pic hyperglycémique légèrement plus important et tardif a été enregistré avec les dattes Deglet Nour (1.34 à t_{0+45} min). Globalement, les pics des dattes, toute variété confondue sont nettement plus bas par rapport à celui de l'aliment de référence. Les résultats enregistrés lors de la présente étude sont comparables à ceux trouvés par ALKAABI *et al.* (2011). Ces derniers rapportent des valeurs des pics hyper-glycémiques pour cinq variétés de dattes dans la fourchette de 1.35 à 1.39 g/l .

Ces résultats peuvent être expliqués encore une fois, par la composition des dattes en fibres (12%). En effet, NORMAND *et al.* (2001), JUNTUNEN *et al.* (2002) ; HLEBOWICZ *et al.* (2007), montrent que la présence de fibres, de lipides et de protéines permettent de limiter le pic d'hyperglycémie postprandial.

HLEBOWICZ *et al.* (2009), s'accordent sur l'effet de la consommation de fibres alimentaires dans la réduction du risque de développement du diabète. D'après leur étude aucune augmentation du niveau du glucose dans le sang, après ingestion d'un repas à base de grains de seigle entiers (riche en fibres) par rapport au pain blanc n'est révélée et le pic est atteint 40 minutes après ingestion avec une valeur de 0.48 g/l .

A titre de comparaison, JENKINS *et al.* (2010), confirment les résultats trouvés par HLEBOWICZ *et al.* (2009). Ils ont montré qu'une réduction de la glycémie post-prandiale est obtenue après incorporation de polysaccharides visqueux (NVP) dans des aliments à base de céréales et de protéines. Les auteurs signalent que l'addition de 5g de NVP dans un petit déjeuner, amidon, riz, rôti de dinde et yaourt permet d'avoir des pics hyper-glycémiques de l'ordre de 0.53 , 0.38 , 0.51 et 0.61 g/l respectivement contre 0.84 , 0.76 , 0.82 . et 0.74 g/l respectivement pour les mêmes aliments sans NVP. Dans la même optique, l'incorporation d'une portion (2.5 g) de ces polysaccharides visqueux dans une variété d'aliments (pain blanc + 2% du lait, amidon + 2% du lait, riz, rôti de dinde, yaourt aux fruits sur dix sujets montre une réduction importante de glycémie post-prandiale (JENKINS *et al.*, 1998 ; JENKINS *et al.*, 2010).

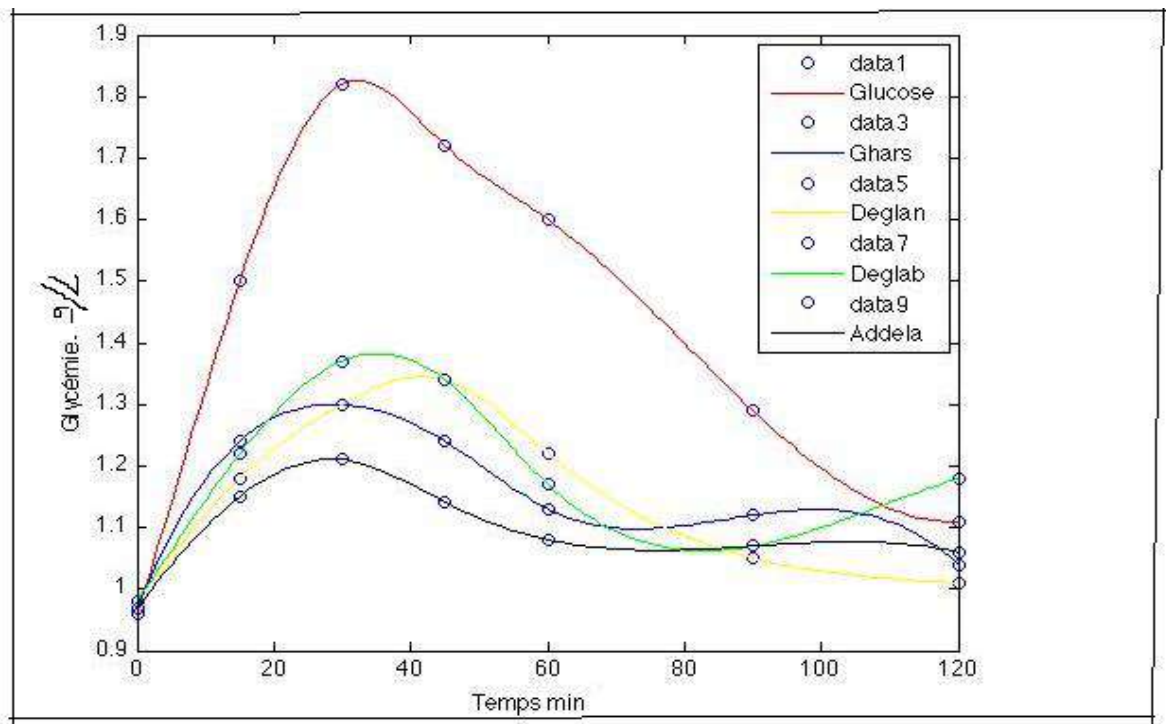


Fig.14- Réponse post prandiale provoquée par ingestion de l'aliment de référence et des dattes des quatre variétés testées

3.1.4.4. Mesure des aires sous la courbe

Les résultats des aires sous la courbe sont présentés sur la figure 15. Le glucose, présente une aire sous la courbe plus importante par rapport aux variétés de dattes testées, ce qui laisse prévoir des index glycémiques inférieurs à 100 ; la plus faible valeur est enregistrée avec la variété Addela ($11.40 \text{ mm}^2 \pm 5.86$).

Des résultats comparables de travaux portant sur l'effet de la consommation de 2 aliments, l'un à un IG élevé, l'autre à IG bas, sur les réponses métaboliques à savoir oxydation du substrat, concentration de glucose sanguin, taux d'insuline, taux des acides gras libres) avant et durant un exercice physique intense, ont montré des faibles aires sous la courbes (20 – 30) (COCATE *et al.*, 2011).

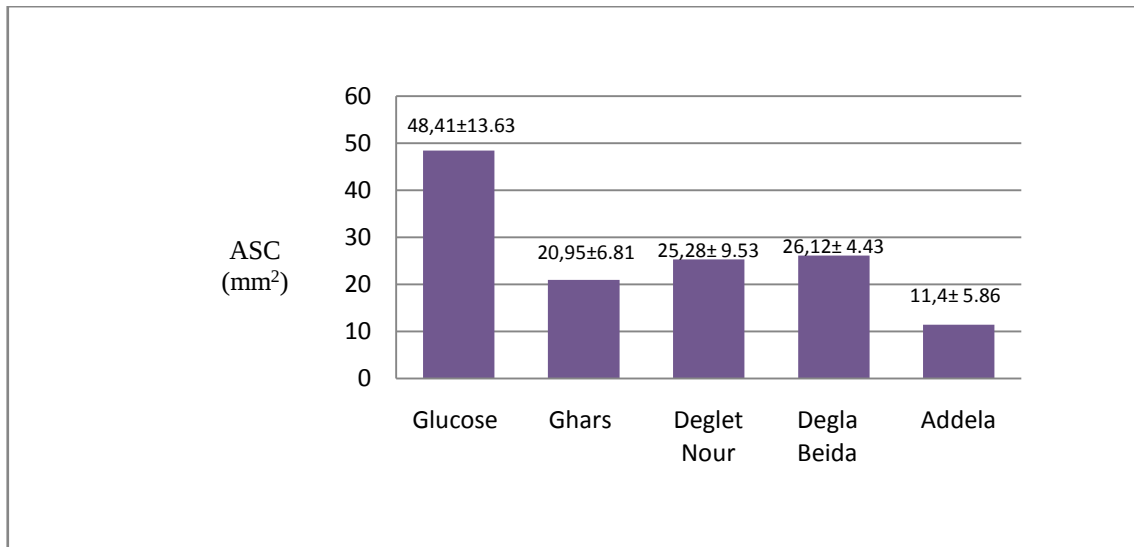


Fig. 15- Valeurs calculées des Aires Sous la Courbe obtenues avec les aliments

3.1.4.5. Calcul des index glycémiques

Les index glycémiques calculés pour les quatre variétés de dattes sont présentés dans la figure 16.

L'index glycémique reflète la capacité d'un aliment à faire augmenter le taux de glucose dans le sang, par rapport à un aliment de référence, en général le glucose ou le pain blanc dont l'IG est par convention égal à 100. L'aliment présentant une aire sous la courbe importante possède un index glycémique élevé et entraînera par conséquent une forte élévation de la glycémie sur une période de 2 heures. Cette réponse dite « post prandiale » si elle est importante, entraînerait une plus forte insulino-sécrétion. Pour un diabétique, des aliments possédant des index glycémiques faibles permettant de réduire l'insulino-sécrétion post prandiale, sont recommandés. De même, le repas de la veille (notamment sa richesse en fibres), comme l'apport glucidique des jours précédents, auront une influence sur l'IG de l'aliment testé : ceci explique les variations entre les différentes études et donc les résultats multiples pour un même aliment (DAVID, 2011).

Les dattes Addela et Ghars présentent des valeurs d'index glycémique plus basses par rapport aux dattes Deglet Nour et Degla Beida (Fig. 16). Ces IG sont très intéressants comparativement au glucose (aliment de référence). Ils sont de nature à suggérer que les dattes seraient des aliments non hyperglycémifiants.

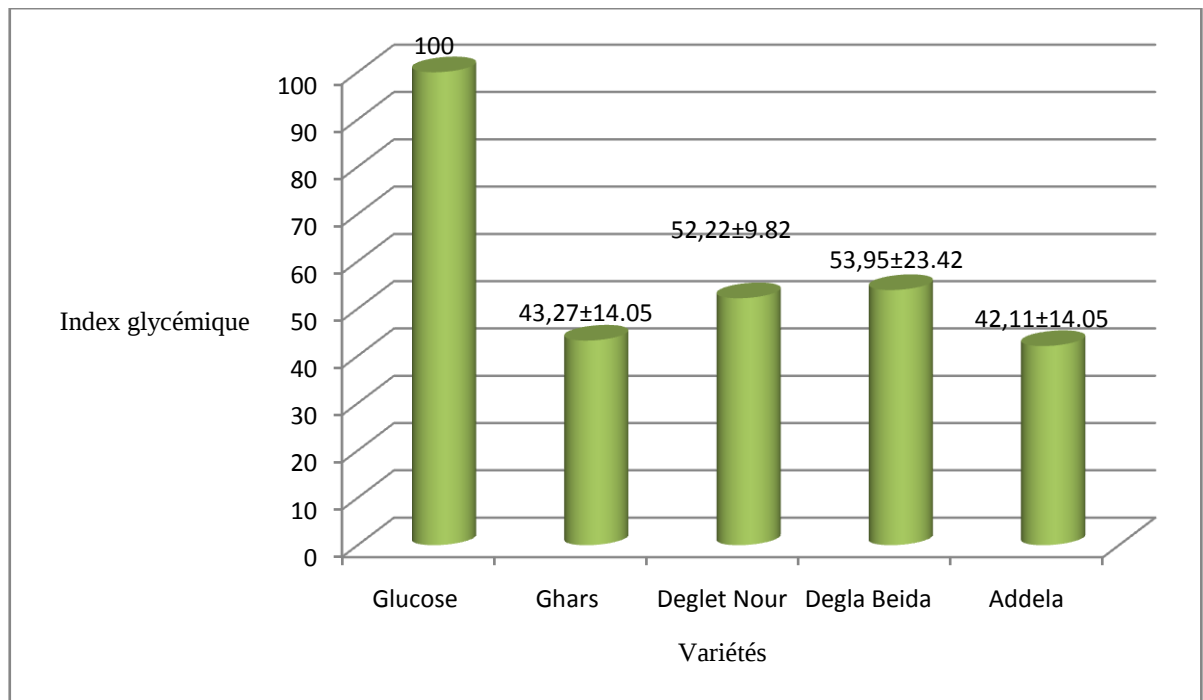


Fig. 16- Index glycémiques des variétés testées

En effet, des valeurs repères ont été proposées pour mettre en place une classification simple des aliments en trois classes (ASSAL *et al.*, 1994).

- aliment IG bas : inférieur à 56 ;
- aliment IG modéré : compris entre 56 et 69 ;
- aliment IG élevé : supérieur à 70.

Nous pouvons donc considérer que les dattes de différentes variétés étudiées (molles, demi molle et sèches) présentent un IG bas puisqu'elles sont inférieures à 56 (ASSAL *et al.*, 1994). Ces résultats sont confortés par une étude réalisée en 2011 par ALKAABI *et al.*, sur la détermination de l'index glycémique de cinq variétés de dattes (Fara'd, Lulu, Bo Ma'an, Dabbas et Khalas). Ces auteurs ont fait appel à 13 sujets sains et 10 sujets diabétiques. Les valeurs d'IG qu'ils ont enregistrées fluctuent entre 46,1 et 55,1 (ALKAABI *et al.*, 2011).

D'autres documents consultés rapportent des IGs des dattes, relativement élevés (95 ou 107) (BRAND-MILLER *et al.*, 2009). Toutefois, ces auteurs ne fournissent aucune précision quant à la variété des dattes testées et aux conditions de déroulement des tests. L'IG d'un aliment est sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels nous pouvons citer la variété et le degré de maturation de la datte (AHMED *et al.*, 1995; AL-SHAHIB et MARSHALL, 2003). Il est important de rappeler, par ailleurs que parmi les

glucides des dattes, seul le glucose est responsable de l'élévation de la glycémie du fait de son IG élevé (100). Toutefois le facteur le plus important reste la présence des fibres solubles (pectines) et insolubles (cellulose, hemicellulose) qui pourraient être à l'origine des faibles IG relevés dans la présente étude. En effet, les fibres limitent l'effet hyperglycémiant des aliments en ralentissant l'absorption du glucose. Des constatations comparables rapportées par de nombreux auteurs (MILLER *et al.*, 2003 ; MILLER *et al.*, 2011), corroborent nos résultats. JENKINS *et al.*, (2010), en étudiant l'effet de l'addition de fibres alimentaires commerciales (PGX) dans certaines préparations, ont enregistré une glycémie post-prandiale et des valeurs d'IG, réduits. Ils ont conclu que la présence de fibres dans un aliment contribue à abaisser la glycémie. Les fibres en facilitant le transit intestinal et en ralentissant la vidange gastrique, freinent les contractions du duodénum, segment initial de l'intestin grêle, provoquant un ralentissement de l'absorption des glucides. Parallèlement, certaines fibres peuvent retenir jusqu'à cinq fois leur poids en eau. Il en résulte alors la formation d'un gel qui réduit l'absorption des glucides et donc la valeur des pics d'hyperglycémie et d'hyperinsulinémie. (BESANÇON, 2004).

Plusieurs études convergent vers la même interprétation en mentionnant un abaissement de l'index glycémique du pain blanc par l'addition d'un extrait (sous forme de poudre) de haricot blanc (UDANI *et al.*, 2009). Ces auteurs ont montré que des capsules de 3000 mg de cet extrait provoquaient une diminution non négligeable de l'IG. Dans le même contexte, BLAIR *et al.* (2006), signalent que les aliments à faible IG ($IG < 55$), tels que ceux à base de soja, riche en fibres, peuvent constituer une partie appropriée des régimes destinés à améliorer le contrôle de la glycémie et les niveaux d'insuline.

CHRISTENSEN *et al.* (2013), ayant travaillé sur l'effet de fruits sur la restriction de la glycémie chez les patients atteints de diabète de type 2, concluent que la thérapie de nutrition médicale constitue une importante option de traitement pour le diabète de type 2. Ils recommandent à cet effet, des régimes alimentaires avec un apport élevé en fibres provenant des aliments qui en sont riches, y compris les fruits. L'étude réalisée sur une population de 63 hommes et femmes atteints le diabète de type 2 nouvellement diagnostiqués, recommande la consommation de fruits même aux personnes non diabétiques.

De ce qui précède, il semblerait que les dattes peuvent être classées parmi les aliments à IG modérés voire même bas puisque globalement inférieur à 56 (ASSAL *et al.*, 1994).

Les résultats que nous avons enregistrés sont donc de nature à suggérer que les dattes toute variété confondue, ne provoquent pas une augmentation importante de glycémie post-prandiale. Les diabétiques peuvent consommer une quantité équivalente à celle utilisée dans la présente étude (7-10 dattes) sans risque d'induire une élévation post-prandiale indésirable du glucose sanguin.

Au terme de cette partie de nos investigations, nous avons ciblé trois variétés parmi les quatre pour les essais d'élaboration des sirops. Les variétés retenues sont : Ghars, Deglet Nour et Degla Beida. Notre choix a été guidé sur la consistance (molle, demi molle et sèche) et la disponibilité de ces variétés dans la cuvette de Ouargla, la variété Adella étant une variété endémique du M'Zab.

3.2. Sirops

Les sirops élaborés par la méthode adoptée, présentent une coloration brun-ambré plus au moins foncé (photo 5).

De nombreux auteurs ayant travaillé sur l'extraction de jus à partir des fruits, rapportent que les traitements enzymatiques améliorent le rendement et l'aspect (pectinases) du produit (XU *et al.*, 2001 ; LIEW-ABDULLAH *et al.*, 2007 ; LANDBO, *et al.*, 2007 ; BAHRAMIAN *et al.*, 2011...).

La couleur du sirop dépend du traitement d'extraction utilisé, de la couleur de datte et de la durée de stockage. D'après TEHSEEN *et al.* (2013), le stockage du sirop de dattes favoriserait le brunissement non enzymatique (réaction de Maillard) qui engendrent le développement des mélanoidines.

GANBI (2012), a réalisé une étude sur l'efficacité des méthodes d'extraction (classique enzymatique, micro-ondes et ultrasons) de sirops de dattes dans l'objectif de déterminer la technique d'extraction et de concentration qui permet de donner des sirops de haute qualité nutritive et organoleptique. L'auteur signale que l'extraction de sirop par ultrasons se caractérise par l'abaissement de la durée de l'opération à environ le tiers voire plus, et améliore la qualité sensorielle (couleur) du produit.



A B C

Photo. 5- Aspect du sirop de dattes : A. Ghars B. Deglet Nour C. Degla Beida

Toutefois, les sirops expérimentaux que nous avons élaborés présentent un aspect limpide, ce qui nous a permis d'éviter de recourir à des procédés de clarification (carbonatation...).

3.2.1. Rendements d'extraction

Une triple extraction de sirops de dattes par l'eau maintenue à 80 °C, donne un rendement relativement intéressant pour la variété Ghars (47.5 %) comparativement aux dattes de la variété Deglet Nour et Degla Beida, qui est égal 40.99% et 18.82% respectivement (Fig.17). Le faible rendement en sirops de dattes de la variété sèche (Degla Beida) serait probablement dû à la faible teneur en eau de la datte s'opposant ainsi à la diffusion des sucres. Les dattes sèches par rapport aux dattes molles nécessitent un temps assez long pour s'humidifier et permettre aux solides solubles de diffuser dans l'eau.

L'analyse de la variance montre une différence significative entre les variétés ($F= 13$ $p = 0,006$).

Les rendements d'extraction du sirop de dattes est en relation directe avec la méthode d'extraction utilisée. Le rendement d'extraction du sirop de dattes par les procédés traditionnels (tassement) oscille entre 10 à 15 % (ABDELFATTAH, 1990 ; SIBOUKEUR, 1998).

De meilleurs rendements sont obtenus avec d'autres méthodes telles que l'extraction à haute température. L'extraction de sirop de dattes variété khalas par cuisson des dattes à 80°C pendant 30 minutes, donne un rendement important qui est égal à 86.5% (EL-EID, 2006). Ce mode d'extraction, permet une diffusion rapide des sucres et par conséquent améliore les rendements.

Des rendements importants sont obtenus par des méthodes enzymatiques (pectinases) (83.10%), ultrasons (83,96 %), micro-ondes (77,52 %) et la méthode classique (38,94 %) (GANBI, 2012).

De nombreux facteurs peuvent améliorer les rendements d'extraction de sirops de dattes, même à basses températures. Les enzymes (pectinase et cellulase) par exemple ont un rôle primordial dans ce processus. GAMAL *et al.* (2009), ont préparé des sirops de dattes à partir de la variété Reziz (variété molle). Cette extraction a été réalisée par addition des proportions variables en pectinase et en cellulase, suivie de l'incubation de dattes à 40 °C pendant 24 heures, ceci permet une extraction poussée des composants de la datte sous l'effet des enzymes. Ces auteurs avaient enregistré des rendements importants variant entre 50.5 à 56.5%. Les résultats que nous avons obtenus semblent inférieurs comparativement à ceux trouvés par ces derniers, malgré la haute température l'extraction appliquée lors de la présente étude (80°C).

En outre, BAHRAMIAN *et al.* (2011), montrent que l'extraction de sirop de dattes variété Kabkab, par la combinaison des enzymes spécifiques (Pectinex® et Cellubrix®), permet d'améliorer la quantité de sucres extraits et d'augmenter le rendement d'extraction d'environ 18%.

Toutes les méthodes citées, mettent en évidence leurs complexités. Par conséquent, la technique que nous avons adoptée présente a priori l'avantage d'être plus simple.

3.2.2. Caractérisation physico-chimique

Les résultats obtenus concernant certains paramètres physico-chimiques des sirops de dattes sont résumés dans la figure 18.

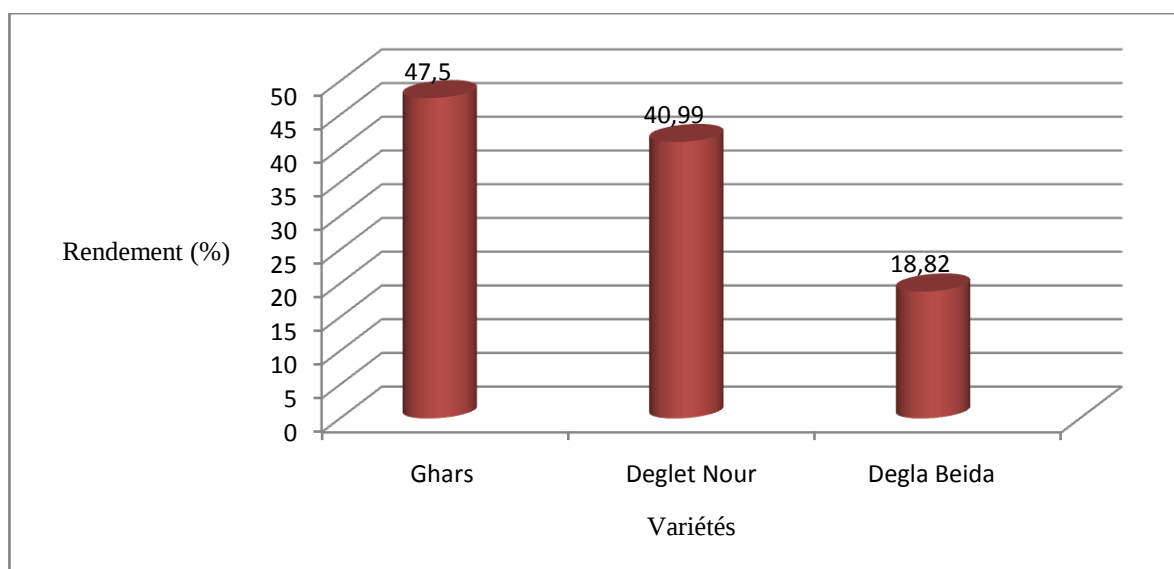


Fig. 17- Rendements en sirops des trois variétés de dattes

3.2.2.1. pH

Le sirop élaboré à base de dattes Ghars présente un pH légèrement acide (4.41 ± 0.008), par rapport à celui de la variété Degla Beida (4.74 ± 0.005) et à celui de la variété Deglet Nour (5.28 ± 0.013). Ces résultats sont plus faibles par rapport à ceux obtenus par SIBOUKEUR, (1997), pour la variété Ghars (pH 5.05).

BENAHMED (2012) rapporte également des valeurs de pH plus élevées, de l'ordre de 5.64. Toutefois, les résultats que nous avons obtenus se rapprochent de ceux cités par AMMAR (2012) soit pH 4.60, d'après une étude sur l'effet de l'addition de germe de blé sur les propriétés physico-chimiques et anti-oxydantes du sirop de dattes.

Cependant, GANBI (2012), enregistre des valeurs variables de pH. Cette variabilité est en fonction de la méthode d'extraction. L'extraction classique fournit des produits à pH 4.80, celle enzymatique des produits à pH 5.27 et celle par ultrasons des produits à pH 5.07.

AL-FARSI (2003), dans une étude réalisée sur la clarification de sirop de dattes (variété Qish-Habash) montre que le traitement de clarification peut modifier l'acidité du milieu. Il a signalé des valeurs différentes de pH en fonction de traitement appliqué : Sirop sans traitement (6.13), avec filtration (6.22), avec un chaulage à chaud et filtration (7.56), un chaulage froid et filtration (7.53), une filtration plus la poudre de carbone activé (6.14).

Les résultats que nous avons obtenus se rapprochent de ceux rapportés par GAMAL *et al.* (2009). En effet, selon ces auteurs le pH du sirop de dattes concentré variété molle (Reziz)

serait de l'ordre de 4.90. Par ailleurs, EL-OGAIDI (2000), rapporte que le «Dibs» a un pH qui tend vers la neutralité et qui est égale à 6.5.

3.2.2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration.

Globalement, la conductivité électrique du sirop de dattes Ghars est plus faible ($1.89 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 0.31$) par rapport à celle des sirops de dattes Deglet Nour ($2.40 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 0.46$) et Degla Beida ($2.86 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 0.34$) (Fig. 18). Ces résultats montrent qu'une quantité d'éléments minéraux contenus dans la datte diffuse dans son sirop. Ceci peut justifier par le fait que les dattes de la variété Ghars présentent une CE relativement plus faible. La température et la viscosité influent également sur la conductivité électrique car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité (REJSCK, 2002).

3.2.2.3. Densité

La densité du produit final est conditionnée par l'opération de condensation. La durée de cette dernière peut s'étaler de 24 heures pour les variétés molles et les variétés demi-molles à 72 heures pour les variétés sèches. Les valeurs relevées varient entre 1.37 ± 0.05 à 1.45 ± 0.05 . La durée de condensation a été choisie de telle manière à rapprocher la densité des sirops fabriqués de celle des HFCS issus de l'amidonnerie qui varie entre 1.34 à 1.40.

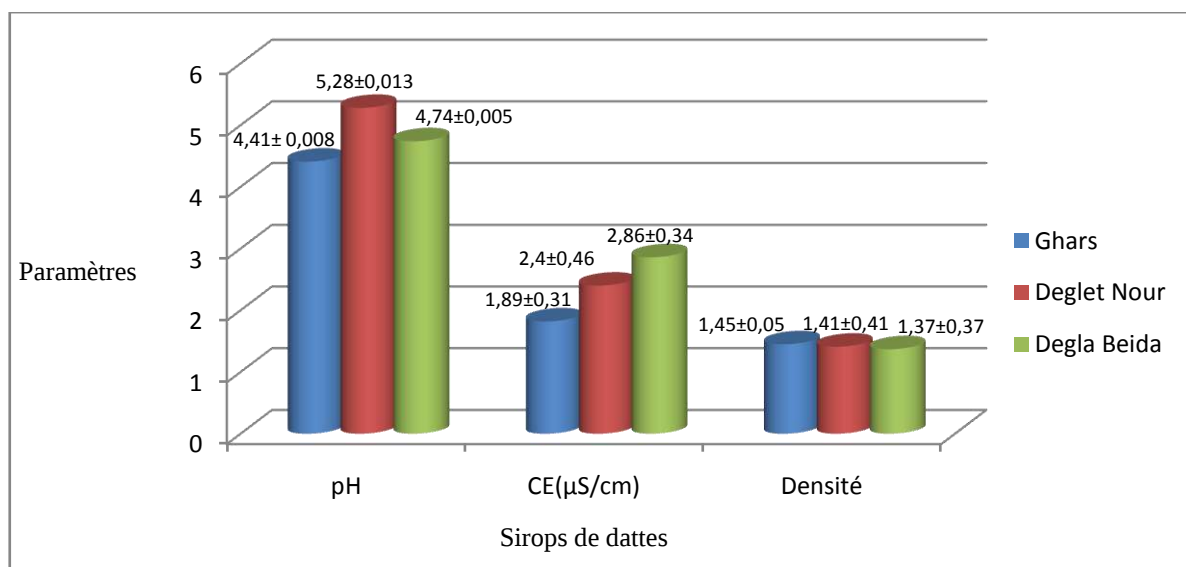


Fig. 18- Paramètres physico-chimiques : pH, Conductivité et Densité des sirops de dattes

3.2.2.4. Teneur en eau

Comme pour la densité, la teneur en eau dépend également de la condensation. Cette opération a pour but d'abaisser l'activité de l'eau des sirops et de faciliter ainsi leur conservation. Ces valeurs enregistrées oscillent entre $20.44\% \pm 0.30$ et $22.99\% \pm 1.81$ (Fig. 19).

Des travaux réalisés par GAMAL *et al.* (2009) rapportent des teneurs en eau du sirop provenant des dattes de la variété khalas, à environ 18.80%. Cependant, ALNAZI (2010), rapporte que le sirop fabriqué à partir de cette même variété de dattes (khalas), aurait une teneur en eau de l'ordre de 16%. Selon AL-EID (2006) ; MOOSAVI-NASAB *et al.* (2010), et AMMAR (2012), les sirops de dattes des variétés irakiennes, saoudiennes et égyptiennes renfermeraient, des teneurs en eau comprises entre 10 et 20 %. De ce fait, les résultats obtenus lors de la présente étude sont compris dans la fourchette rapportée par la bibliographie. La teneur en eau est susceptible de modification par modulation de la température et de la durée de condensation.

L'humidité d'un produit alimentaire constitue le principal facteur favorisant le développement des micro-organismes. Certaines moisissures et levures peuvent se développer dans un milieu sucré à humidité intermédiaire (teneur en eau inférieure à 25%) (DURAND et FAVARD, 1967). Les résultats obtenus lors de la présente étude permettent de classer les sirops de dattes parmi les aliments à « humidité intermédiaire » dont la conservation est relativement aisée.

3.2.2.5. Taux de la matière sèche

Le taux de matière sèche des produits élaborés oscille entre $77.01\% \pm 1.67$ à $79.56\% \pm 1.30$ (Fig. 19), ces valeurs sont inférieures par rapport à celles rapportées par ALNAZI (2010) (84 %). Globalement, nos résultats sont dans la fourchette citée dans la bibliographie. En effet, plusieurs auteurs ont cité des valeurs variables, dont AL-EID (2006) (86.5%); GAMAL *et al.* (2009) (75.50 %).

3.2.2.6. Taux de solides solubles

Le taux de solides solubles (exprimé en degré Brix), représente le poids en gramme de matière sèche contenue dans 100g de produits (CLEMENT, 1978). Les résultats obtenus lors

de la présente étude montrent que ce dernier oscille entre $72.33^{\circ}\text{Brix} \pm 0,33$ et $73.20^{\circ}\text{Brix} \pm 0,53$ (Fig. 19).

La concentration des sirops est liée à la teneur en solides solubles, elle dépend de la technique d'extraction utilisée. A cet effet, SIBOUKEUR (1997) a montré que les sirops de dattes extraits par tassement titraient 60°Brix .

Les résultats que nous avons obtenus sont comparables à ceux rapportés par CAMAL *et al.* (2009). Selon ces auteurs le sirop extrait sous l'effet des enzymes porte un TSS de l'ordre de 70.30 à 78.60°Brix . Par ailleurs, AL-FARSI (2003), a montré que le sirop clarifié par différentes méthodes après l'évaporation sous vide peut donner un TSS de l'ordre 70°Brix .

3.2.2.7. Teneur en cendres

Les teneurs en cendres enregistrées sont comprises entre $0.96\% \pm 0.046$ et $2.73\% \pm 0.11$ (Fig. 19). Ces valeurs sont en relation directe avec la conductivité électrique qui renseigne sur la composition minérale. La teneur en cendres des sirops de dattes Ghars est faible par rapport à celle des autres sirops. Ce résultat confirme la valeur de la conductivité enregistrée ($1.82 \pm 0.31 \mu\text{S/cm}$). Nos résultats sont comparables à ceux enregistrés par AL-EID (2006) (1.5%). De même, GAMAL *et al.* (2009), a rapporté des valeurs de l'ordre de 1.62%. Ils sont toutefois, inférieurs à ceux évoqués par ALNAZI (2010). Ce dernier avait enregistré une teneur de l'ordre de 6.8 %, avec des taux d'extraction élevés. Ainsi, l'utilisation d'une presse mécanique permet d'élever la teneur en cendres dans l'extrait jusqu'à 5.14 (MUSTAFA *et al.*, 1983). La méthode d'extraction est donc probablement la cause de l'élévation du taux des cendres dans l'extrait de dattes.

3.2.2.8. Eléments minéraux

Les sirops de dattes présentent une quantité appréciable de Cl, de Na, de Fe, et une quantité relativement faible de Ca, de Mg et de Zn. La teneur en fer du sirop de dattes Deglet Nour est égale à $33.83 \text{ mg} \pm 1.98$ pour 100g (tableau XII). Cette valeur est plus élevée que celles des sirops Ghars et Deglet Beida qui est comprise entre 27.73 ± 1.47 et $27.96 \text{ mg} \pm 0.68$ pour 100g respectivement. Les résultats obtenus semblent supérieurs à ceux cités par ALNAZI (2010). Selon cet auteur, le sirop de dattes renfermerait 7.8 mg du fer pour 100g. D'après AL-HOUTI *et al.* (2002), cette teneur serait de l'ordre de 0.10 mg pour 100g.

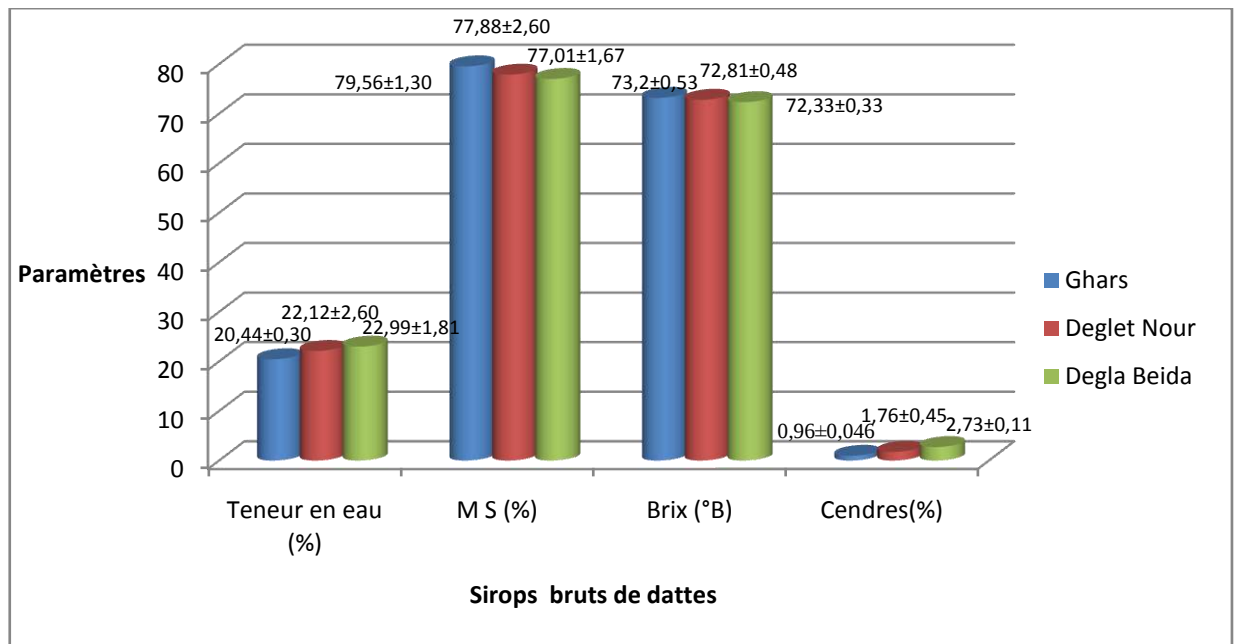


Fig. 19- Paramètres physico-chimiques : Teneur en eau, en matière sèche, en cendres et °Brix des sirops bruts de dattes

Les résultats obtenus pour les sept éléments étudiés sont comparables à ceux obtenus par AL-SHAHIB et MARSHALL (2003). On en conclut que la méthode adoptée dans la présente étude pour l'élaboration des sirops (diffusion) permet une meilleure extraction de ces éléments. Ceci rehausse d'avantage la qualité nutritive des sirops de dattes. En effet, ces oligo-éléments sont indispensables pour le bon fonctionnement de l'organisme, notamment leur l'activation de réactions biochimiques, plus particulièrement en tant que cofacteurs enzymatiques dans le métabolisme du glucose (WIERNSPERGER et RAPIN, 2010). A titre exemple les coenzymes hématiniques (cytochromes) sont présents dans les mitochondries des cellules aérobie. Ils sont impliqués dans le transport des électrons de la chaîne respiratoire et lors de la photosynthèse. C'est le fer du groupement prosthétique qui transporte les électrons par passage réversible du fer ferrique en fer ferreux.

L'absence ou la réduction de certains de ces éléments minéraux est incompatible avec la vie. Ainsi, sans sodium, sans potassium par exemple, il ne peut y avoir de transmission nerveuse. Le calcium participe à l'édifice osseux et à l'activité musculaire.

Tableau XII.-Teneur en éléments minéraux (mg pour 100 g de sirop brut) des trois variétés

Eléments minéraux	Fe	Mg	Ca	Cl	K	Na	Zn
Ghars	27.73 ±1.47	0.30±0.05	5.45±0.88	173.86±7.3	17.55±16.9	50.0±0.86	0.74±0.73
Deglet Nour	33.83±1.98	1.35±0.24	6.55±0.45	275.43±8.95	31.40±1.95	83.33±28.8	1.39±0.18
Degla Beida	27.96±0.68	0.53±0.31	7.00±0.77	246.13±29.84	24.76±3.83	100±50	1.58±0.28

3.2.3. Caractérisation biochimique

La composition biochimique des sirops de dattes de trois variétés est résumée dans la figure 20. De nombreux auteurs dont ABDELFAH (1990) ; EL-OGAIDI (2000) ; AL-HOUTI *et al.* (2002) ; AL-FARSI (2003) ; AL-EID (2006) ; GAMAL (2009) ; ALANAZI (2010) MOOSAVI (2010) ; AL-JASSER (2009) ; BAHARAMIAN (2011) ; GANBI (2012) ; QUESHI *et al.* (2012), affirment que les extraits de dattes présentent des teneurs appréciables en trois sucres majeurs à savoir le glucose, le fructose et le saccharose.

3.2.3.1. Teneur en sucres totaux

La matière sèche des dattes et de leurs produits dérivés sont caractérisés par une prédominance des glucides (MIMOUNI et SIBOUKEUR 2011 ; BAHARAMIAN, 2011 ; GANBI, 2012 ; QUESHI *et al.*, 2012 ...). La teneur en sucres totaux des sirops bruts de dattes des trois variétés fluctue entre 70.01 à 73.68% (figure 20). Ces valeurs se rapprochent de celles rapportées par certains auteurs dans d'autres pays (Arabie Saoudite) tels que GAMAL *et al.* (2009) (74%) et AMMER (2012) (73%). D'autres auteurs rapportent des valeurs relativement plus élevées, tels que ALANAZI (2010) (79.45%), AL-JASASS (2010) (80) ; EL-EID (2006) (81%) en Arabie Saoudite.

3.2.3.2. Teneur en sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs, des sirops issus des dattes de la variété molle (Ghars) est plus importante que celle des sirops issus de dattes de la variété demi molle (Deglet Nour), sont respectivement (70.05%) et (59.11%). La teneur en ces sucres pour le sirop Degla Beida variété sèche est plus faible, puisqu'elle est égale (37.08%) (Fig. 20). Ces résultats rapprochent de ceux trouvés par AL-EID (2006), pour le sirop issu de la variété molle

(Khalas). L'auteur rapporte que les sucres réducteurs prédominent (81% versus 1% pour le saccharose). Des travaux évoqués par d'autres auteurs, sur des variétés molles, confortent nos résultats. En effet, des valeurs comparables à celles citées précédemment, sont rapportés par ALNAZI (2010) (74.83%) ; AL-JASSER (2009) (80%).

La recherche en nutrition a montré que la consommation de différents aliments glucidiques (glucose IG : 100, fructose IG : 20) entraîne des élévations différentes de la glycémie pour un apport équivalent en glucides. Ceci peut être expliqué par le fait que le fructose est absorbé au niveau de l'intestin grêle par transport actif mais indépendamment du sodium, contrairement aux autres monosaccharides (glucose). Ensuite, il va dans la circulation sanguine, en tant que fructose (et non pas comme glucose) n'influençant pas ainsi la glycémie. Le fructose doit être véhiculé vers le foie pour être métabolisé, alors que la majorité des autres sucres sont déjà décomposés lorsqu'ils traversent la paroi intestinale pour entrer dans la circulation sanguine. Cela a pour conséquence que le fructose possède un indice glycémique plus bas que le glucose, qui lui, fait monter la glycémie instantanément (MULTON, 1992).

3.2.3.3. Teneur en saccharose

La teneur en saccharose du sirop brut de dattes Ghars est égale à 0.55 %. Cette valeur est négligeable devant celle des sirops issus d'autres variétés, à savoir Deglet Nour (13.83%) et Degla Beida (31.28) (Fig. 20). Ceci peut être expliqué par la teneur relativement élevée en eau des dattes variété Ghars (dattes molles), responsable de l'accélération du processus d'inversion du saccharose en sucres invertis (MAATALLAH, 1970). Les résultats obtenus se situent dans la fourchette citée par EL-EID (2006) et AL-JASASS (2010). Selon ces auteurs, ces produits issus des variétés molles renfermeraient des teneurs en saccharose de l'ordre de 1%, ce qui conforte nos résultats.

Cependant, SIBOUKEUR (1997), affirme que les jus de dattes molles auraient des teneurs en saccharose comprises entre 4.9 à 6.2 %. ALNAZI (2010), a signalé une valeur du même ordre à savoir 4.87 % pour des jus versus de variété molle de dattes.

Les sirops de dattes bruts issus des variétés molles et demi-molles contiennent des teneurs en saccharose assez faibles. Ce disaccharide provoque certains problèmes de santé dont l'hyperglycémie, l'obésité, les infections dentaires...etc. Dans ce contexte un séminaire international réalisé à Halsanki en 1978 a fait ressorti la nécessité de remplacement du saccharose dans des préparations alimentaires par d'autres sucres (fructose, le sucre liquide).

Ceci à encourager les chercheurs à focaliser leurs travaux sur le sirop de dattes caractérisé, par sa richesse en éléments minéraux, en vitamines, et par une faible valeur énergétique (ABDELFATTAH, 1990).

3.2.3.4 Teneur en protéines

Les sirops de dattes présentent des teneurs en protéines assez comparables (Fig. 20). Ces teneurs varient entre $0.97\% \pm 0.04$ et $1.15\% \pm 0.04$. Elles se rapprochent de celles rapportées par AL-FARSI *et al.* (2006). D'après ces auteurs, les sirops de dattes variétés Omaniennes renfermeraient des teneurs variant entre 0.95 % à 1.09%. ALANAZI (2010), rapporte une teneur du même ordre que celle citée précédemment soit 0.83 %.

Toutefois, les résultats obtenus lors de la présente étude semblent plus faibles que ceux avancés par AL-EID (2006). Selon cet auteur, le sirop de dattes comporterait 2.2 % de protéine par rapport au poids frais. Cependant, des teneurs de l'ordre de 1.46 à 1.58%, ont été signalées par GAMAL *et al.* (2009). Il est important de souligner que ces protéines bien qu'existant en petites quantités sont qualitativement bien équilibrés (MAATALLAH, 1970 ; BERINDI, 2000). En effet, plusieurs travaux réalisés par plusieurs auteurs et dans des différents pays, comme l'Irak et l'Egypte ont démontrés que les protéines des dattes se singularisent par une composition qualitativement bien équilibrées en acides aminés importants pour l'organisme humain. Douze acides aminés caractérisent les dattes de la variété « Elkhallas » d'Arabie Saoudite, dont 4 sont quantitativement majoritaires (BERINDI, 2000). Il s'agit du glutamate, de l'aspartate, de la glycine et de la serine jouant un rôle important dans le métabolisme cellulaire. Ces acides aminés ont beaucoup de fonctions biologiques importantes. Ils jouent souvent le rôle de messagers chimiques dans la communication entre cellules. Par exemple l'acide γ amino-butyrique (GABA ; produit de décarboxylation de l'acide glutamique) est un neurotransmetteur, substance libérée par des cellules nerveuses pour modifier le comportement des cellules voisines (DONALD *et* JUDITH, 1998).

Les acides aminés minoritaires sont représentés par la lysine, l'arginine, le tryptophane, la valine, la thréonine, l'alanine, la tyrosine et la leucine qui malgré leur faible teneur sont importants pour le bon fonctionnement de l'organisme et permettent de donner une valeur biologique élevée aux protéines dattes. En effet, la plus part de ces acides aminés sont indispensables (la leucine, la lysine, le tryptophane, la thréonine et la valine). Les mammifères sont incapables de les synthétiser, et doivent les trouver dans leurs aliments. Les

acides aminés alimentaires en excès n'étant par ailleurs ni mis en réserve, ni excrétés, sont transformés en intermédiaires métaboliques comme le pyruvate, l'oxaloacétate et l' α -cétoglutarate (DONALD et JUDITH, 1998).

3.2.3.5. Teneur en pectines

La teneur en pectines de sirop issu de la variété Ghars semble importante par rapport à celle de sirop de dattes Deglet Nour et Degla Beida puisqu'elle est égale à 3.86% contre 2.10% et 2% (Fig. 20). Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux mentionnés par ALANAZI (2010) et AL-EID (2006), qui sont de l'ordre de 1.46% et 1.8% respectivement. Les valeurs enregistrées peuvent être expliquées par le fait que les méthodes d'extraction ont eu lieu sans recours à des pectinases (GAMAL et al., 2009). Les pectines, en diminuant la vitesse de digestion des glucides, les rendent moins rapidement disponibles et donc contribuent à l'abaissement de leur IG. Elles ont également la capacité de ralentir la vidange gastrique (satiété) (NORMAND et al., 2001) ; l'hypoglycémie entraîne une vidange gastrique trop rapide et l'hyperglycémie une vidange gastrique trop lente.

Ainsi, les résultats relatifs à l'analyse physico-chimique (Fig. 18 et 19) et biochimique (Fig.20) des sirops élaborés à partir des dattes des trois variétés étudiées mettent en exergue une qualité nutritive et diététique intéressante.

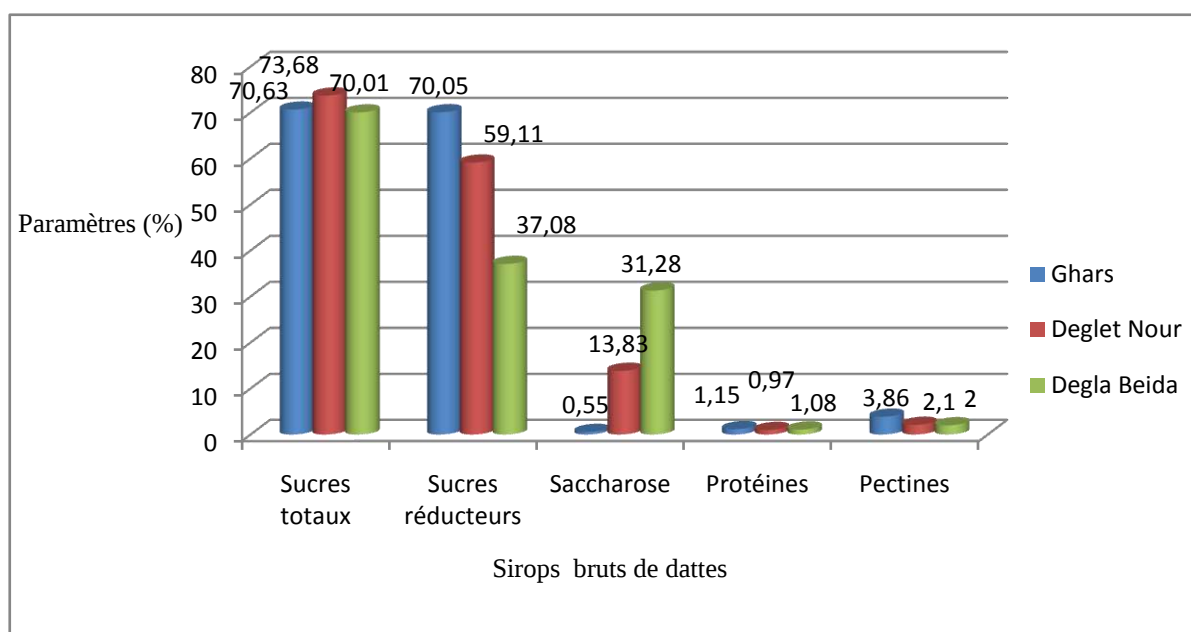


Fig. 20- Caractéristiques biochimiques des sirops bruts de dattes

3.2.3.6. Particularités des sirops bruts de dattes

Les résultats précédemment cités, font ressortir les critères qui nous ont permis de retenir les dattes de la variété Ghars pour la fabrication du Sirop Brut de Dattes que nous avons dénommé : **SBDG**.

Ces critères sont les suivants :

- meilleure aptitude à produire du sirop du fait de leur consistance molle ;
- rendement d'extraction le plus élevé soit 47.5 % contre 40.99% % et 18.82 % pour la variété Deglet Nour et la variété Degla Beida respectivement ;
- composition glucidique plus proche de celles des HFCS de 1^{ère} génération (BRAY *et al.* (2004) ;
- richesse en sucres réducteurs particulièrement en fructose qui se caractérise par un index glycémique bas (20).

3.2.4. Détermination de l'index glycémique du sirop brut de dattes (SBDG)

Le pic hyper-glycémique du SBDG, comme celui de l'aliment témoin (glucose) est atteint à $T_0 + 15$ min. Il est considéré comme précoce puisque dans la majorité des cas, il est atteint 30 minutes après ingestion (à $T_0 + 30$ min.) des aliments. Généralement, ce pic coïncide avec la sécrétion d'insuline (FAO/OMS, 1998 ; DAVID, 2011 ; ALKAABI *et al.*, 2011).

Toutefois, la valeur de celui-ci dans le cas de l'aliment test, est assez intéressante car elle est inférieure à celle du glucose (1.55 g/l contre 2.3 g/l) (Fig. 21). Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que le SBDG renferme des quantités de glucose et de fructose équivalentes. Le glucose est un sucre simple, facilement assimilable, son absorption est rapide et est suivie d'un pic hyper-glycémique précoce important mais de courte durée.

Le faible pic hyper-glycémique enregistré pour le SBDG peut avoir pour origine la présence des fibres solubles et des éléments minéraux, ainsi que l'effet hypoglycémiant du fructose (IG = 20). En effet, dans ce contexte, les recherches en nutrition ont montré que la consommation de différents aliments glucidiques entraîne des élévations différentes de la glycémie pour un apport équivalent en glucides. Ainsi, la vitesse de digestion des glucides d'un aliment est dépendante de sa complexité (teneur en fibres, en matières grasses, traitements technologiques, différences variétales des matières premières etc...).

La glycémie post prandiale (glycémie à T_{0+120} min.) (JENKINS *et al.*, 2011) des volontaires (sains), enregistrée avec ce sirop, est basse comparativement à celle enregistrée avec le glucose. En effet, elle est de l'ordre de $0.9 \pm 0,58$ g/l contre 1.37 ± 0.48 g/l. Rappelons que la glycémie post-prandiale recherchée ne doit pas dépasser la valeur de 1.4 g/l (HLEBOWICZ *et al.*, 2009 ; ROSEN *et al.*, 2009).

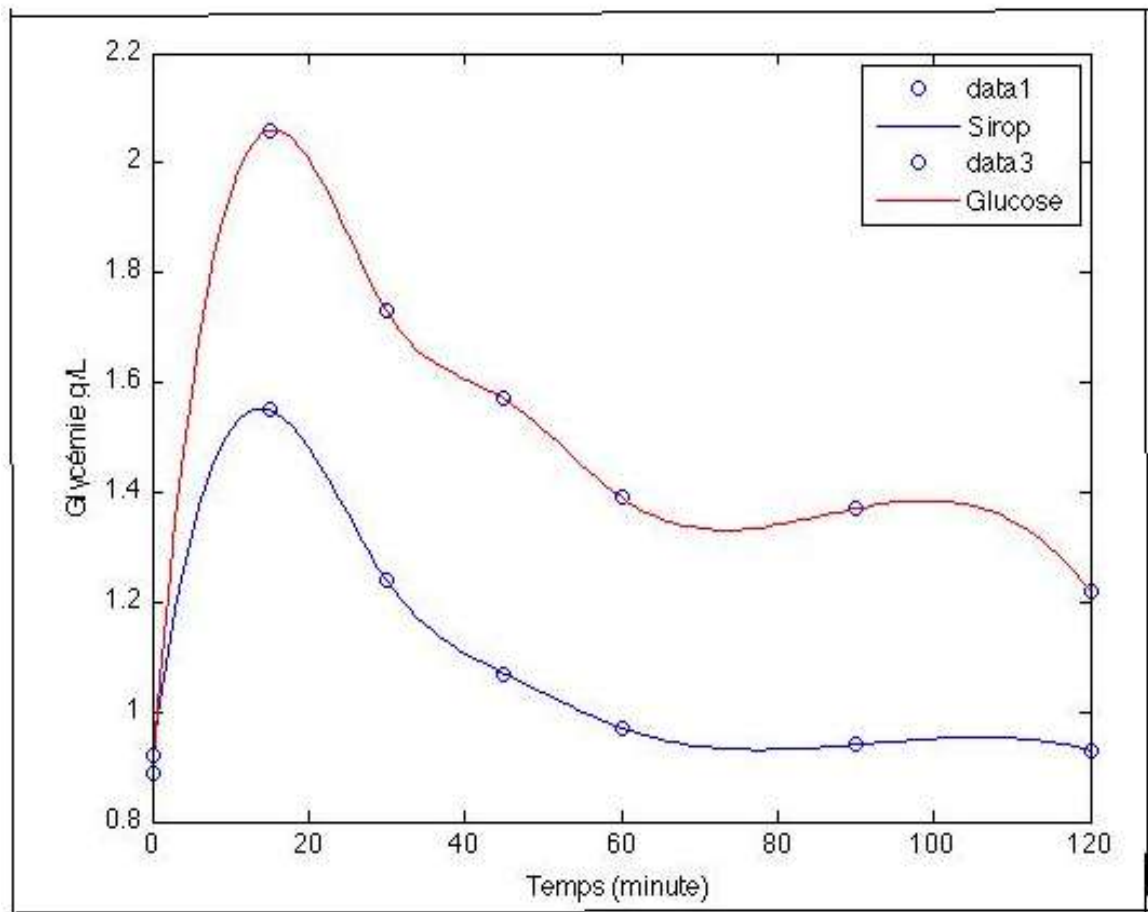


Fig. 21- Evolution de la glycémie en (g /l) après ingestion de l'aliment de référence (glucose) et du SBDG (sirop) : Pic hyper-glycémique et Glycémie Postprandiale

Nos résultats concordent avec ceux évoqués par DAVID (2011). L'étude entreprise par l'auteur a porté sur l'index glycémique du fructose natif extrait de fruits qu'il a dénommé « Fructi Light ». L'auteur montre que les résultats sur une cohorte humaine confortent les données obtenues avec les souris. La consommation du FructiLight entraîne, une très faible réponse glycémique postprandiale, un pic hyper-glycémique tardif (t_{45} min.), de l'ordre de

0.12g/l en comparaison à celle obtenue avec le glucose (t_{45} min. 3.07 g/l). L'auteur corrobore le positionnement unique, différent et approprié du fructose natif extrait de fruits (FructiLight) et élargit les possibilités de ses utilisations dans l'industrie agro-alimentaire, avec un double atout naturalité et santé. RADULIAN *et al.* (2009), avaient évoqué auparavant la possibilité de la consommation de fruits pour les patients atteints de diabète de type 2.

L'IG du SBDG est égal à 61.51 ± 10.98 . Nous pouvons par conséquent classer le SBDG parmi les produits à IG modéré (ASSAL *et al.* 1994). Cet indice est supérieur à celui de dattes utilisées comme matière première ($IG 43.40 \pm 9.74$) (Fig. 16). Ceci peut être expliqué par la vitesse d'absorption des glucides influencée par la nature de l'aliment (DAVID, 2011). En effet, l'IG des fruits est inférieur à celui de leur jus. En outre, l'IG est d'autant plus bas que l'aliment renferme des fibres (pectines). Ce qui est le cas des dattes (4.15%) et de leur sirop (3.86%) (Fig. 12 et 20).

De ce qui précède, il ressort clairement l'existence d'une relation entre l'IG et la réponse post prandiale (Fig. 21).

Enfin nous pouvons dire que le sirop brut de dattes Ghars est un produit que l'on peut facilement fabriquer par la méthode adoptée dans la présente étude et ce même à l'échelle ménagère. Sa composition est intéressante tant sur le plan nutritif que sur le plan diététique. En effet, il est riche en constituants nutritifs solubles provenant des dattes. Parallèlement, il est nettement moins coûteux que les HFCS dont la fabrication nécessite de nombreuses opérations telles que la liquéfaction et la saccharification de l'amidon et l'isomérisation du glucose en fructose. Des enzymes coûteuses telles que l' α amylase, l'amyloglucosidase et la glucose isomérase sont utilisées dans sa fabrication dont les USA et la France détiennent le monopole. Cependant les HFCS largement utilisés comme édulcorants dans l'industrie des boissons (light) ne sont pas disponibles sur le marché algérien. Quant au fructose, édulcorant le plus usuel, il est disponible en pharmacie et en parapharmacie mais inaccessible par la majorité des consommateurs diabétiques vu son coût relativement élevé (38 à 40 Euros ; 530 DA/Kg).

3.2.5. Développement de produits dérivés du SBDG

L'objectif assigné à cette partie vise quelques essais d'amélioration de la qualité diététique du sirop brut de dattes Ghars dont la composition est initialement, comparable à celle des HFCS 42% (fructose), en vue de le rapprocher le plus possible des HFCS 55 % et 90%.

3.2.5.1. Sirop brut de dattes (SBDG)

La composition physico-chimique et biochimique de ce produit paraît plus proche des HFCS de la 1^{ère} génération c'est-à-dire les HFCS à 42 % (Tableau XIII et XV), notamment en ce qui concerne leur teneur comparable en fructose, à savoir 39.10% et 42% respectivement. Ceci rehausse davantage l'intérêt des produits expérimentaux.

Ainsi, le pH est égal à 4.41 et 4 pour le sirop et les HFCS 42% respectivement (BRAY *et al.*, 2004) (Tableau XIII).

La densité du sirop étudié est comparable à celle des HFCS, puisqu'elle est égale à 1.45 versus 1.34. Il est important de signaler que la phase de condensation conditionne la densité du produit fini (Photo 6).



Photo. 6- Sirop brut de dattes variété Ghars :

A – Extraction par diffusion ; B – aspect avant condensation ; C- aspect après condensation

Le taux de solides solubles, modulable durant la phase de condensation (couple température/durée) est égal à 73.20 °Brix. Il est de ce fait plus proche de celui des HFCS qui

est de l'ordre de 71 °Brix (DUFFEY et POPKIN, 2008 ; BARKER *et al.*, 1984). La teneur en eau du sirop égale à 20 %, est légèrement inférieure à celles des HFCS (29 %).

Les produits ayant des teneurs en eau inférieure à 30% présentent une activité d'eau (a_w) inférieure à 0,90 (ALAIS et LINDEN, 1987). Cette faible a_w ne permet pas la croissance microbienne et ces produits (à humidité intermédiaire) peuvent être stockés durant de longues périodes à la température ambiante (DURAND et FAVARD, 1967).

Le SBDG renferme une teneur en cendres de l'ordre de 0.96 %, alors que les HFCS en sont très pauvres (0.3 %). Ceci montre la richesse des sirops en matières minérales par rapport aux HFCS.

Tableau XIII- Caractérisation physico-chimique du SBDG et HFCS de la 1^{ère} génération

Paramètres	pH	Densité	Teneur en eau (%)	⁰ Brix	Cendres (%)
SBDG	4.41± 0.008	1.45 ± 0.05	20.44 ± 0.30	73.20 ±0.53	0.96 ±0.046
HFCS 1 ^{ère} génération	4	1.34	29	71	0.30

Les sirops de dattes sont riches en éléments minéraux indispensables au bon fonctionnement de l'organisme humain (Tableau XIV). Ces éléments sont le fer, le magnésium, le calcium, le chlore, le potassium, le sodium et le zinc. Les HFCS renferment seulement du chlore et du calcium, en faibles quantités provenant probablement des traitements subit par l'amidon lors de son hydrolyse.

Tableau XIV-Teneur en éléments minéraux (mg pour 100 g de SBDG)

Eléments minéraux	Fe	Mg	Ca	Cl	K	Na	Zn
SBDG	27.41	0.30	5.45	173.86	17.55	50.0	0.74
HFCS 1 ^{ère} génération	-	-	+	+	-	-	-

- absence, + existence

L'analyse qualitative par chromatographie sur couches minces de gel de silice des sucres du SBDG a permis d'identifier deux spots de couleur et de R_f différents (Photo 7) correspondants au glucose et au fructose. Les résultats indiquent l'absence de spot correspondant au saccharose.



S : Saccharose ; G: Glucose; F: Fructose et 1, 1' échantillon

-Photo. 07- Chromatogramme des sucres du sirop brut de dattes (Ghars)

Le SDBG présente donc, dès son élaboration par la méthode adoptée lors de la présente étude, une composition glucidique comparable à celle des HFCS 42 % (1^{ère} génération) issus de l'industrie de l'amidon.

Parallèlement, les dosages quantitatifs révèlent des taux (en % du taux des sucres totaux) de glucose, de fructose et de saccharose du SDBG respectivement égaux à $40.86 \pm 3.23\%$, $39.10 \pm 0.001\%$ et $1.09 \pm 0.002\%$ contre 53% de glucose, 42 % fructose dans le cas des HFCS de la 1^{ère} génération. (Tableau XV).

Tableau XV- Composition glucidique du SDBG

Composition glucidique (%)	Glucose	Fructose	Saccharose
SDBG	40.86 ± 3.23	39.10 ± 0.001	1.09 ± 0.002
HFCS 1 ^{ère} génération	58	42	-

Plusieurs auteurs ayant travaillé sur les sirops de dattes issus des variétés molles, rapportent aussi la présence de deux sucres majeurs, le glucose et le fructose (AL-EID, (2006) ; MOKHBER *et al.* (2008) ; GAMAL *et al.* (2009) ; AL-JASSER *et al.* (2010) ; ALNAZI (2010) ; AMMAR (2012) ; GANBI (2012). Dans la même optique, MOKHBER *et al.* (2008), ont entrepris plusieurs travaux sur les fruits du palmier dattier, vu son potentiel élevé en Iran. Parmi ces travaux, l'essai de production d'un sirop de dattes à haute teneur en fructose (HFDS). Les auteurs considèrent la datte, une source d'hydrates de carbone favorable et appropriée pour produire des sirops diététiques.

La composition glucidique du SBDG élaboré lors de la présente étude semble comparable à celle évoquée par plusieurs auteurs. MOKHBER *et al.* (2008) (fructose 37% et glucose 35%) ; GANBI, (2012) (fructose 30.13% et glucose 45.87%) ; AL-JASSER *et al.* (2010) (fructose 41 % et glucose 38%) ; AL-EID, (2006) (fructose 41 % et glucose 39%).

De tout ce qui précède, nous pouvons rapprocher la composition glucidique du SBDG élaboré de celle des HFCS de la 1^{ère} génération.

Etant donné, que les HFCS sont élaborés à partir de l'hydrolyse de l'amidon, ils sont dépourvus des éléments nutritifs (protéines, fibres, éléments minéraux...) (HELLA, 2005 et DUFFEY et POPKIN, 2008). Le SBDG se particularise donc par rapport aux HFCS de l'amidonnerie par la présence de substances nutritives contenues dans la datte. Ceci rehausse son intérêt nutritionnel.

Du point de vue diététique, le fructose grâce à son pouvoir sucrant plus élevé que celui du glucose et du saccharose (1.5 contre 0.80 et 1) (LIMA *et al.*, 2011), à son index glycémique bas (20) (DAVID, 2011), et à son métabolisme qui ne nécessite pas de l'insuline (GABY, 2005 et SUI *et al.*, 2012), est doté de propriétés hypo calorifiques et hypoglycémiantes et peut donc contribuer à la lutte contre l'obésité et le diabète (FORSHEE *et al.*, 2007). Le sirop de dattes élaboré présente une teneur appréciable de fructose (39.10%), ce qui lui permet d'être utilisé dans les régimes alimentaires des catégories de personnes qui cherchent à réguler leur glycémie.

Dans les fruits et les produits de transformation, le fructose est toujours associé à d'autres composés susceptibles de favoriser son assimilation. Ainsi, les dattes et leurs sirops le SBDG en l'occurrence, sont susceptibles de posséder des avantages que le fructose pur (réfèrent) commercialisé et les HFCS ne possèdent pas. Parmi ces avantages, nous pensons à :

- l'action des fibres susceptibles d'accélérer le transit intestinal (ralentir l'absorption intestinale du glucose) et de ralentir la vidange gastrique (biodisponibilité des sucres et satiété) (HELLA, 2005 et DUFFEY et POPKIN, 2008) ;
- au rôle de la thiamine ou vitamine B1 contenue dans les dattes et dans leurs sirops (hydrosoluble), dans le catabolisme du glucose en tant que cofacteur (Thiamine de Pyrophosphate) dans la décarboxylation oxydative du pyruvate (WEIL *et al.*, 1997);

- l'action des oligoéléments en tant que facteur coenzymatique tel que le Fer (coenzymes hématiniques) ou en tant que composant principale de l'hémoglobine... (SCHAEFER *et al.*, 2009 ; MUNSTEDT, 2009).

De nombreuses études confortent l'hypothèse que nous avons avancée. Ces travaux rapportent qu'une consommation excessive de « fructose pur » favorise l'obésité et l'apparition de maladies cardiovasculaires (BRAY *et al.*, 2004 ; HELLA, 2005 ; FORSHEE *et al.*, 2007 ; ANGELOPOULOS, 2009). Ces mêmes effets sont observés avec le sirop de maïs riche en fructose (HFCS) (ELLIOTT *et al.*, 2002 ; CHOI *et al.*, 2003 ; STANHOPE et HAVE, 2008 . Récemment, SUI *et al.* (2012), ont affirmé qu'une réduction de fructose pur (édulcorant) était efficace dans la réduction de ces maladies.

Les essais entrepris pour la transformation du SBDG analogue des HFCS de 1^{ère} génération en sirop de dattes à haute teneur (HFDS) 55 % (analogue des HFCS de 2^{ème} génération) et 90 % (analogue des HFCS de 3^{ème} génération), diététiquement plus intéressants, sont par conséquent justifiables.

3.2.5.2. Transformation du SBDG par voie physique

Dans de nombreux aliments à faible teneur en eau, les oses sont présents à l'état amorphe. En dessous d'une certaine teneur en eau, la forme amorphe est instable et cristallise en relâchant de l'eau (MULTON, 1991 ; PROST, 1977). La cristallisation se produit d'autant plus rapidement que le rapport glucose/ eau est élevé.

Le principe de cette méthode consiste en l'élimination plus ou moins importante du « glucose » du SBDG par cristallisation. Ainsi lors d'un entreposage à 4°C au-delà de 70j, nous avons constaté un début d'apparition de petits cristaux (0.1 à 2 mm de Ø) dans le SBDG. La taille des cristaux a continué à augmenter au fur et à mesure que la durée de stockage augmentait (Photo 8 A et B). Deux fractions distinctes apparaissent alors dans le sirop (Photo 8 B). La fraction cristallisée est ensuite récupérée par passage à travers une passoire dont la taille des mailles est égale à 2 mm (Photo 8 C et D).

Ce phénomène exploité dans la présente étude a été signalé et étudié dans le cas du miel d'abeilles, par de nombreux auteurs (PROST, 1977 ; MULTON, 1991 ; ROSALEN *et al.*, 1996 ; RICHARD et SHASTRY, 1999 ; LABUZA et LABUZA, 2004 ; BIMBENT *et al.*, 2007).

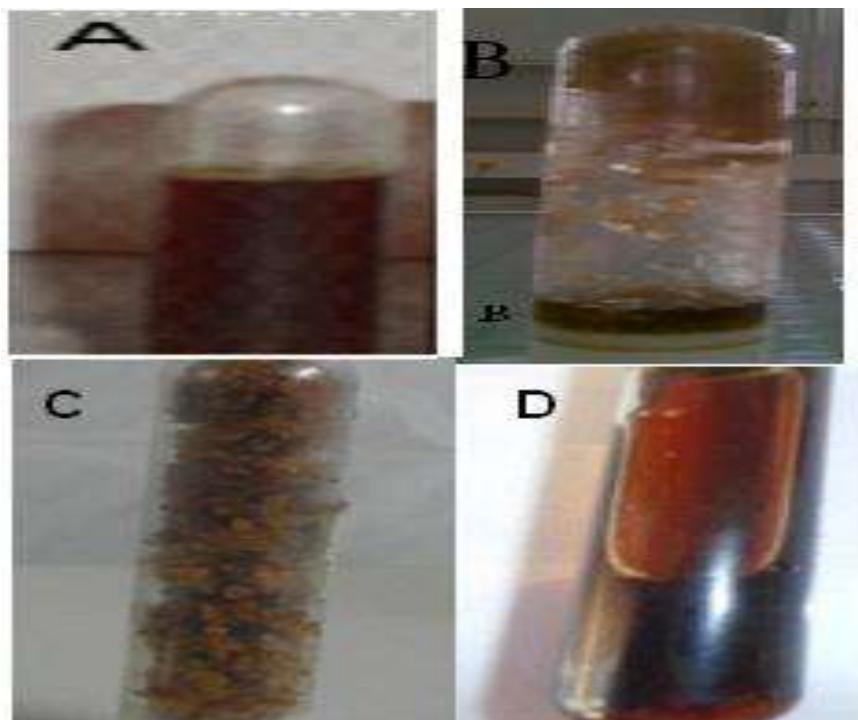


Photo. 08- A : Aspect du SBDG au début du stockage ; B : Aspect après cristallisation ;

C : fraction cristallisée ; D : fraction non cristallisée

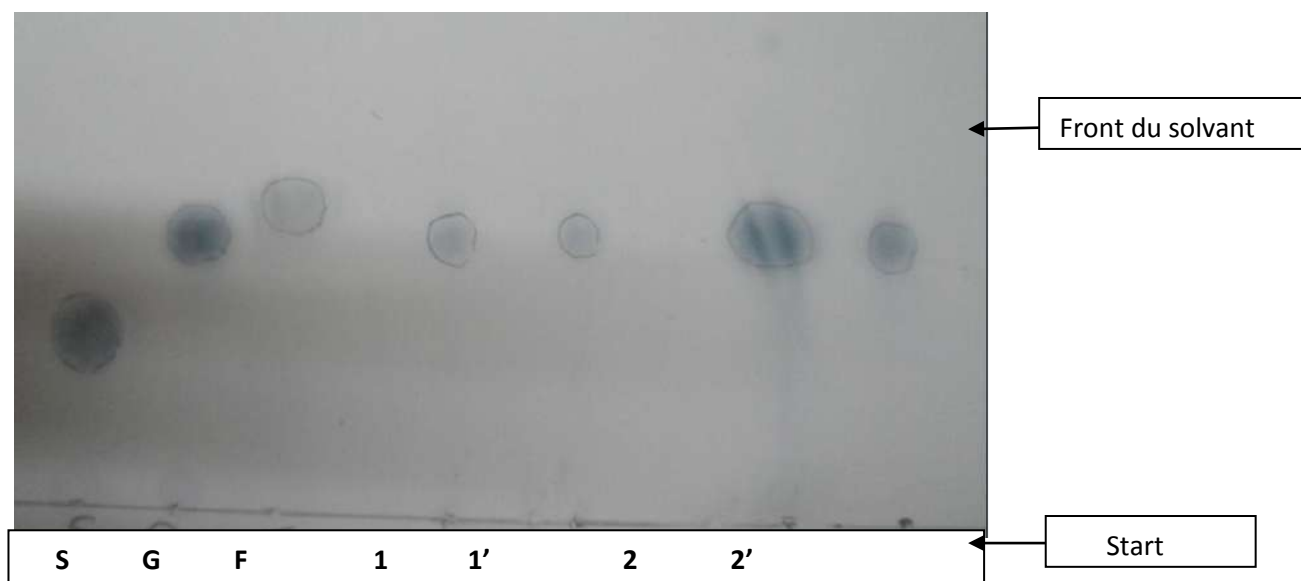
Les résultats que nous avons obtenus sont de nature à suggérer que la composition du SBDG peut acquérir le profil glucidique des HFCS de 2^{ème} et 3^{ème} génération moyennant cette méthode de refroidissement, relativement simple.

Nous avons fait appel à la CCM pour étudier la pureté de la fraction non cristallisée car elle conditionne les possibilités d'utilisation des produits dérivés du SBDG, par les diabétiques et/ou obèses.

3.2.5.2.1. Chromatographie en couches minces de gel de silice (CCM) des deux fractions

Le chromatogramme (Photo 9), permet d'identifier la nature de la fraction cristallisée et non cristallisée de sirop de dattes traité, en fonction de leur R_f et de leur coloration, par comparaison aux sucres de référence. On remarque l'absence du spot correspondant au saccharose et la présence de deux spots bien distincts dont le R_f et la couleur indiquent que la fraction cristallisée correspond au glucose et que celle non cristallisée au fructose. En effet, la partie cristallisée du sirop présente un R_f et une coloration similaires à ceux du sucre de référence « glucose » (R_f 0.23).

Cependant, la partie non cristallisée présente une coloration similaire et un R_f plus proche à ceux du sucre témoin « fructose » (R_f 0.25).



S : Saccharose, G : Glucose, F : Fructose, 1,1' : fraction non cristallisée, 2,2' : fraction cristallisée.

Photo. 09- Chromatogramme des deux fractions du sirop de dattes

3.2.5.2.1.1. Chromatographie en couches minces de gel de silice (CCM bidimensionnelle) de la fraction non cristallisée

Après 3 répétitions, la fraction non cristallisée apparaît nettement sous forme d'un spot unique de même couleur (marron) que celle du sucre témoin (fructose) (Photo 10).

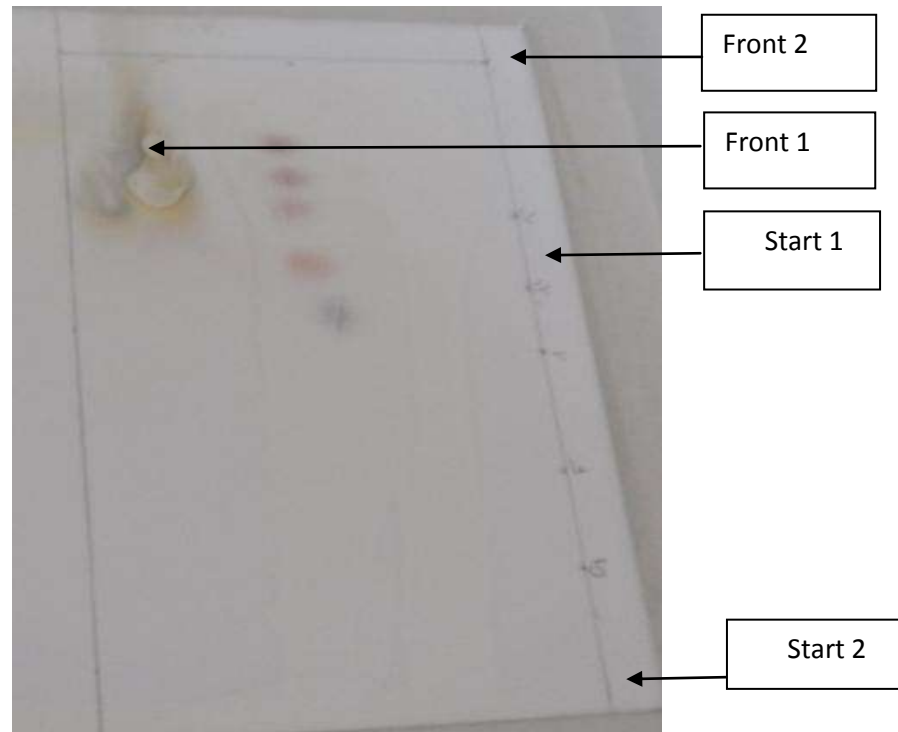
La CCM bidimensionnelle a permis de mettre en évidence la pureté de la fraction non cristallisée c'est à dire le fructose des produits dérivés du SBDG.

3.2.5.2.1.2. Fraction cristallisée : Taille des cristaux

La cristallisation du glucose provoquée par stockage à 4°C du SBDG, durant une période excédant 70 jours, a permis d'obtenir des cristaux de différentes tailles (Photo 11).

Globalement la taille des cristaux a tendance à augmenter au fur et à mesure que la durée de réfrigération augmente. Ainsi, elle varie entre 0.11 ± 0.042 mm après quelques mois de stockage et 3.28 ± 0.26 mm après de 2 ans de stockage (Photo 11). Ces cristaux ont été

collectés à la fin de cette période. La formation des cristaux est un phénomène assez lent et exige des dépôts de couches successives de glucose.



De bas à haut : Glucose et fructose respectivement (sucres témoins), Echantillon 1,1' 1'':
fraction non cristallisée.

Photo. 10- Chromatogramme bidimensionnel de la fraction non cristallisée.

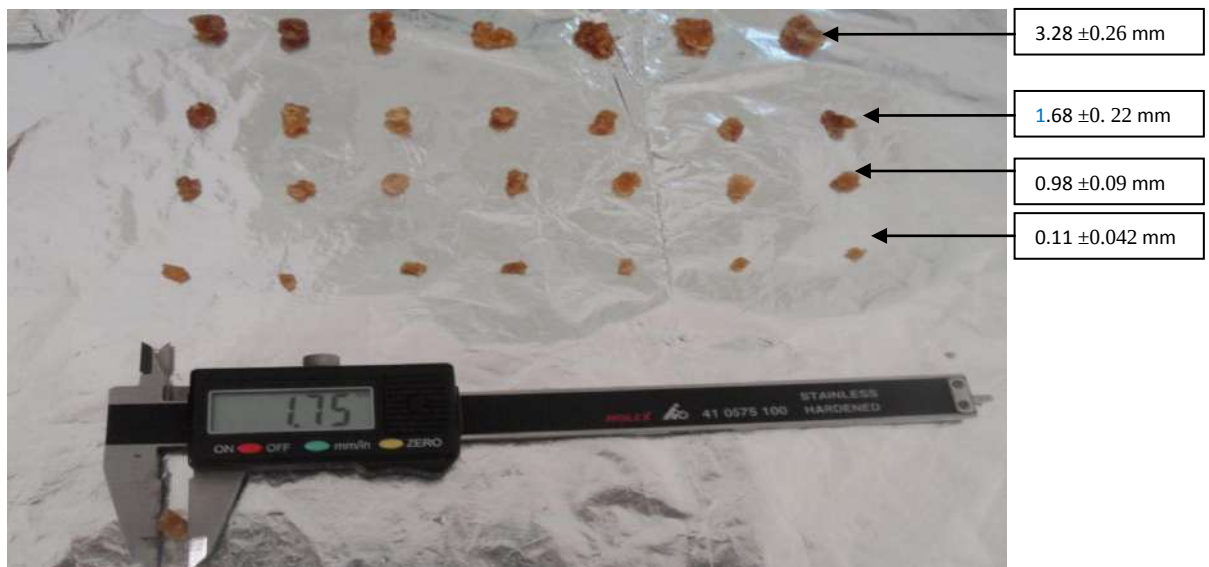


Photo 11.- Aspect et taille des cristaux de glucose

Pour pouvoir cristalliser le maximum de glucose, il faut donc prolonger la durée de séjour de froid du sirop. Toutefois, une nucléation (ou germination) consistant en l'ajout d'une petite quantité de glucose (1 à 2%) activerait la formation des cristaux de glucose (BIMBENET *et al.*, 2007). Le glucose ajouté agit dans ces conditions comme un germe autour duquel des couches de glucose du sirop se déposent progressivement.

Par ailleurs, de nombreux facteurs peuvent affecter la formation des cristaux d'un sirop de fruits, parmi ces derniers, nous pouvons citer :

- un taux de solides solubles inférieur à 72 et supérieur à 75 °Brix ;
- une température de stockage inadéquate causant un retard dans la formation des cristaux ;
- la présence d'impuretés (telles que les pectines) empêchant la cristallisation du glucose ;
- une viscosité élevée limitant fortement la vitesse de croissance des cristaux (BIMBENET *et al.*, 2007).

Les résultats obtenus lors de la présente étude avec les produits issus de la datte sont de nature à suggérer que les conditions de fabrication des produits visés sont plus ou moins optimisées.

3.2.5.2.2. Dosage quantitatif des sucres de la fraction non cristallisée

Ce dosage nous a permis de compléter les résultats obtenus avec la CCM mono et bidimensionnelle selon lesquels la fraction non cristallisée serait du fructose purifié issu des dattes.

L'analyse biochimique de cette fraction récupérée à la fin de la période de stockage (après 2 ans) à 4°C, indique une augmentation du taux de fructose qui passe de 39.10% à 78%. Parallèlement, une régression importante du taux de glucose est enregistrée (1.8% contre 40.86% avant la cristallisation).

Ces résultats indiquent que nous sommes en présence d'un sirop de dattes à teneur en fructose supérieure à celle des HFCS 55% (2^{ème} génération) et proche de celle des HFCS 90 % (3^{ème} génération). Ils répondent par conséquent aux objectifs assignés à cette étude. Nous

l'avons dénommé Sirop de Dattes à Haute Teneur en fructose ou SDHF (HFDS ou High Fructose Date Syrup).

Le fructose est utilisé comme édulcorant courant dans de nombreuses industries agro-alimentaires. De nos jours, une grande quantité de HFCS (sirop de maïs à haute teneur en fructose, un mélange équilibré en glucose et en fructose) est produit par la glucose isomérase (enzyme immobilisée). La datte est une source d'hydrates de carbone appropriée pour produire de HFDS (Sirop de dattes haute teneur en fructose). Dans la même optique, MOKHBER *et al.* (2008), ont pris en considération les propriétés de sirop de dattes pour le soumettre aux conditions opérationnelles, afin d'optimiser l'application de la glucose-isomérase. Ils ont utilisé la chromatographie échangeuse d'ions pour la séparation d'hydrate de carbone. Un mélange contient des quantités équilibrées en fructose et en glucose a été converti en fructose dans un réacteur à enzyme fixée de glucose isomérase. D'après cette technique, les auteurs ont pu obtenir un sirop à 76% du fructose. Nos résultats sont comparables à ceux trouvés par ces auteurs.

Une étude a été réalisée par AL-EID (2006), dans le cadre de la préparation d'un sirop à haute teneur en fructose à base de dattes variété Khalas. La technique adoptée par cet auteur, se base sur la séparation du fructose à partir d'un mélange de sucres contenant essentiellement du fructose et du glucose qui étaient obtenu à partir des fruits du dattier. La séparation de la fraction fructose de la fraction glucose a été réalisée par la chromatographie échangeuse de cations (Doxex polystyrene strong cation exchange gel matrix resin Ca^{2+} and divinylbenzen) en présence d'un enzyme (Boehringer Mannheim Enzymatic glucose), après avoir dilué le sirop de concentration 86.5 % à 40, 30 et 20 %. Les étapes de séparation et d'élution sont complexes. Cette séparation a permis d'avoir des sirops à teneur en fructose variant entre 37.89 - 44.2% de solides solubles. Comparativement à la méthode utilisée dans la présente étude, la méthode d'AL-EID (2006) paraît très coûteuse.

3.2.5.2.3. Détermination de l'Index glycémique de la fraction non cristallisée

Les pics hyper-glycémiques du glucose pur et du SBDG (témoin) sont atteints à T_{0+45} min. Leurs valeurs respectives sont égales à 1.67g/l et 1.41g/l. En revanche, ce pic est atteint précocement (T_{0+30} min) pour le Sirop de Dattes à Haute Teneur en fructose (SDHF) avec une valeur de 1.29 g/l (Fig. 22). Ces résultats sont confortés par ceux cités précédemment et qui indiquent une teneur négligeable en glucose à IG =100 des SDHF et une teneur élevée en

fructose (IG 20). Ainsi, ces résultats consolident ceux obtenus par CCM et par les dosages quantitatifs (78% fructose).

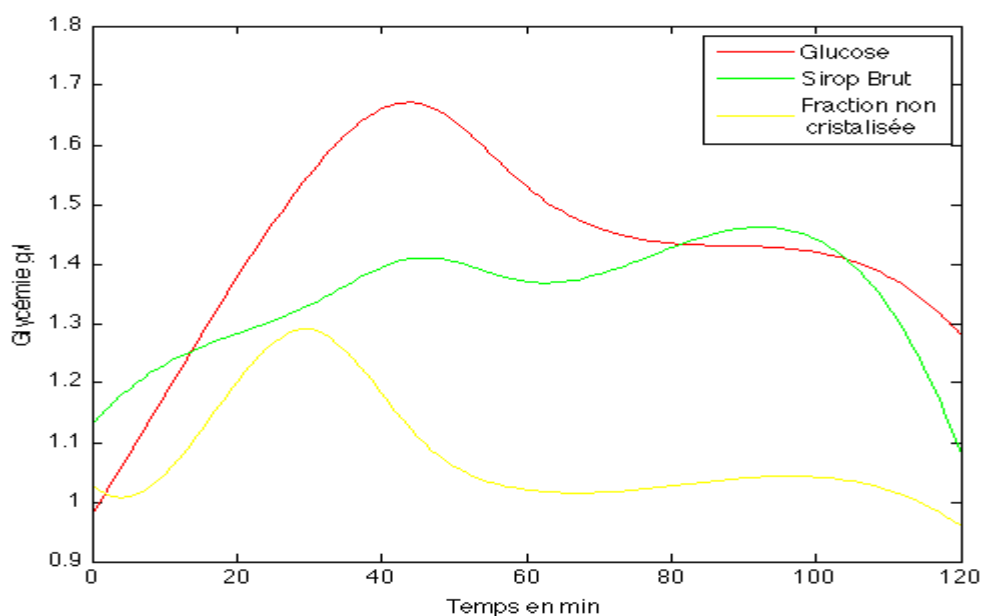


Fig. 22- Evolution de la glycémie post-prandiale (g/l), après ingestion de l'aliment de référence (glucose) ; Sirop brut de dattes Ghars (SBDG) ; fraction non cristallisée (SDHF)

L'index glycémique du SDHF nous a permis de conforter les résultats cités précédemment. Ce dernier égal à 34, contre celui du SBDG (61.51 ± 10.98) permet de le classer parmi les produits à faible index glycémique susceptible d'être destinés aux diabétiques et aux obèses. Rappelons que l'index glycémique du glucose pris comme référence est égale à 100, et celui des dattes est estimé à 43.40 ± 9.74 . D'après ces résultats, nous pouvons dire que le traitement physique (cristallisation par refroidissement) appliqué au sirop brut de dattes Ghars (SBDG) est en mesure d'améliorer sa composition glucidique et donc qualité diététique. Ces résultats corroborent ceux d'une étude récente entreprise par DAVID (2011), sur la mesure de l'index glycémique (IG) et insulinémique (II) postprandiaux du fructose natif extrait des pommes dénommé par l'auteur « fructilight » et celui du « fructose référent du marché non issu de fruits » disponible en pharmacie (IG =20). Cette étude montre un IG très bas pour le fructilight ($11,9 \pm 1,7$). De très faibles impacts de ce fructose sur la glycémie et l'insulinémie post-prandiales de sujets sains ont été rapportés par l'auteur. L'index glycémique obtenu avec le fructilight est plus de huit fois inférieur à celui obtenu avec le glucose et plus d'une fois et demi inférieur au fructose témoin, non issu de fruits. La sécrétion d'insuline, en cohérence avec la montée de glycémie, est également très

nettement inférieure à celle observée avec le glucose (DAVID, 2011). Le fructose natif extrait de fruits est considéré par l'auteur comme un sucre à fort intérêt nutritionnel présentant le plus faible index glycémique des sucres caloriques du marché et assurant un maintien de l'homéostasie glucidique.

Le fructose est le principal composant des produits expérimentaux élaborés. La facilité de son élaboration, ses propriétés diététiques à savoir index glycémique bas, et son caractère hypocalorifique (pouvoir sucrant élevé) rehaussent l'intérêt diététique des sirops élaboré expérimentalement.

En plus, le SBDG élaboré dans le cadre de cette étude se distingue des HFCS de l'amidonnerie par la présence de substances nutritives initialement contenus dans la datte dont il est issu. Sa composition glucidique est proche de celle des HFCS de 3^{ème} génération. Il présente l'avantage de pouvoir être fabriqué assez facilement à l'échelle familiale, semi-industrielle ou industrielle.

Leur fabrication est moins coûteuse comparativement à celle des HFCS qui exige le recours à des méthodes enzymatiques (hydrolyse et isomérisation).

Enfin, même par rapport aux sirops élaborés dans le cadre des travaux de recherche entrepris par AL-EID (2006) et MOKHBER *et al.* (2008) et qui font appel à des techniques complexes (Chromatographie Echangeuse de Cations et utilisation d'enzyme), le SDHF semble intéressant et original.

Une autre tentative d'amélioration de la qualité diététique du SBDG a fait l'objet de la présente étude. Cette tentative repose sur l'effet des protéines sur la diminution de l'IG des aliments glucidiques.

3.2.5.3. Influence d'une protéine sur l'IG du SBDG

L'étude a consisté en un essai d'amélioration de la qualité diététique du sirop brut de dattes Ghars (SBDG), par l'addition d'une source protéinique susceptible de faire abaisser son IG. A cet effet, nous avons choisi une algue bleu-vert : la spiruline.

La spiruline pourrait être utilisée pour traiter le diabète selon KUMARI *et al.* (2011). De nombreux auteurs ont travaillé sur l'efficacité de la spiruline sur la santé humaine. RAVI *et al.* (2010) ont montré les effets immunitaires et anti-oxydantes de cette algue ; TANG et SUTER (2011), ont signalé que cette algue constitue une source concentrée de caroténoïdes

(provitamine A) et d'autres nutriments, comme la vitamine B12. SHARMA et DUNKWAL (2012) ont travaillé sur l'augmentation de la valeur nutritionnelle des biscuits par l'incorporation de la spiruline. Ces produits seraient aussi avantageux pour ceux qui souffrent de maladies dégénératives en raison de sa propriété thérapeutique. Enfin, SIMPORE *et al.* (2006), préconisent la réhabilitation de la spiruline dans la nutrition des enfants sous-alimentés, afin de corriger la perte de poids plus rapide.

Ces auteurs montrent que les produits à valeur ajoutée à base de spiruline peuvent être bénéfiques pour la population vulnérable ou fragile en raison de sa valeur nutritive élevée.

En effet, la teneur en protéines de cette algue située autour de 60 à 70% de son poids sec (BELAY, 2002 ; SIMPORE *et al.*, 2006), (DAVID, 2011). D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont très bien équilibrées car elles contiennent l'ensemble des acides aminés essentiels (47% du poids total des protéines). Elle renferme en plus des protéines, 6% de lipides, 2% de fibres et 10.76 % de cendres (SIMPORE *et al.*, 2006).

Sa composition en fait un aliment tout à fait exceptionnel notamment pour la fonctionnalité que nous recherchons à travers le présent travail c'est-à-dire abaissement de l'IG du SBDG.

3.2.5.3.1. Détermination de l'index glycémique du Sirop de Dattes Ghars Complémenté (SDGC).

3.2.5.3.1.1. Sélection de volontaires non diabétiques

La glycémie à jeun de six nouveaux volontaires est égale à $0.99 \text{ g/l} \pm 0.03$. Leur âge oscille autour de $24 \text{ ans} \pm 1.03$. Leur poids est égal à $49 \text{ kg} \pm 9.79$, leur taille à $1.60 \text{ m} \pm 0.13$ et leur Indice de Masse Corporelle à $19.14 \text{ kg/m}^2 \pm 2.90$ (Tableau XVI). Ces résultats montrent que les volontaires sont non diabétiques, non obèses, critères ayant permis de les retenir pour réaliser ce test (Annexe 8).

Tableau XVI- Indices biologiques des volontaires

Caractéristiques	Moyenne (n = 6)	Ecart type
Glycémie à jeun (g/l)	0.99	0.03
Age (ans)	24	1.03
Poids (Kg)	49	9.79

Taille (m)	1.6	0.13
IMC (Kg/m ²)	23.18	2.90

IMC : Indice de masse corporelle

3.2.5.3.1.2. Evolution de la glycémie : Pic d'hyperglycémie, Glycémie postprandiale

L'évolution de la glycémie après ingestion de 50g de glucose et celle après ingestion de l'aliment test c'est-à-dire SDGC_{1%} et SDGC_{2%} par 06 volontaire (Annexe 9), le pic hyperglycémique et la Glycémie Postprandiale ont fait l'objet d'une analyse.

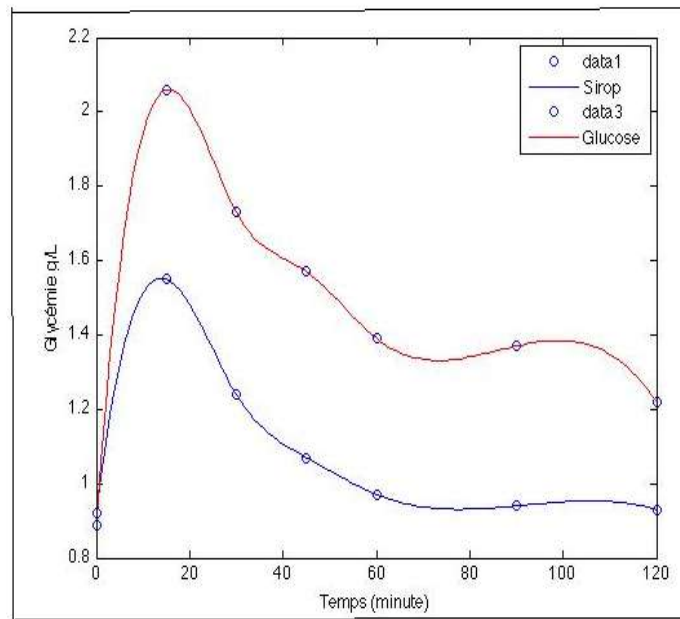
Les résultats indiquent que le pic d'hyperglycémie obtenu avec l'aliment de référence est atteint à T₀₊₁₅ min. en moyenne, avec une valeur égale à 2.06 g/l $\pm$ 0.25 (Fig. 23).

Les pics hyper-glycémiques obtenus à T₀₊₁₅ min. sont égaux à 1 et 0,99 g/l respectivement avec le SDGC_{1%} et le SDGC_{2%}. Ces pics sont faibles par rapport à ceux obtenus avec le glucose et le SBDG (Fig. 23). Ce résultat peut être expliqué par la richesse de la spiruline en protéines (60 - 70%) (KHAN *et al.* 2005 ; BECKER, 2007 ; MADDALY *et al.*, 2010 ; YU *et al.*, 2011 ; MORENGA *et al.*, 2011). Il ne faut pas oublier l'effet potentiel des fibres et des éléments minéraux de ces produits. Ces résultats sont confortés par d'autres travaux plus ou moins récents. Parmi ces travaux, nous citons ceux de NORMAND *et al.*, (2001). D'après cet auteur et ses collaborateurs, la présence de protéines, en diminuant la vitesse de digestion, rend les glucides moins rapidement disponibles, ce qui entraîne une hyperglycémie retardée peu intense. De ce fait, dans le cadre d'un repas complet, la présence de fibres, de lipides et de protéines permettra de limiter le pic d'hyperglycémie postprandial (DAVID, 2011 ; GUNNERUD *et al.*, 2012).

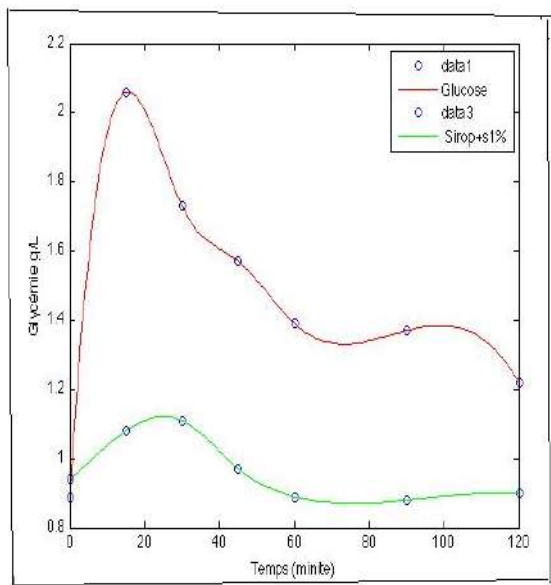
3.2.5.3.1.3. Mesure des index glycémiques

Les résultats des «aires sous la courbe moyenne » des aliments testés et l'aliment de référence selon le programme Matlab sont présentés dans la figure 24.

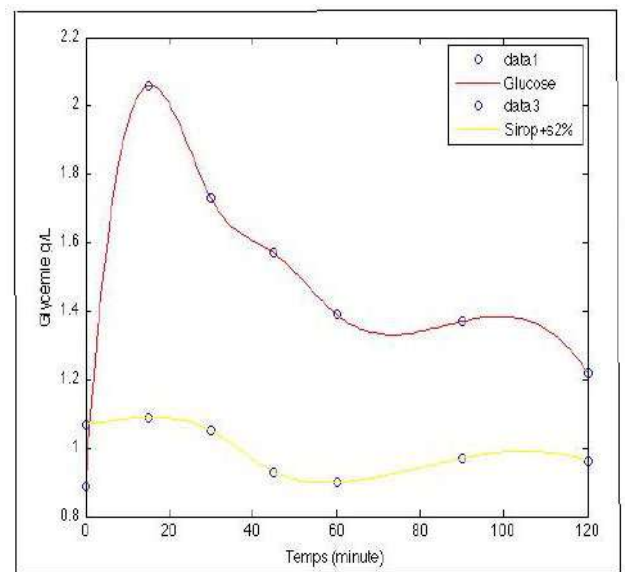
L'aliment de référence (glucose) a donné une « aire sous la courbe » importante par rapport aux aliments testés (191.47 $\pm$ 0.09), à savoir le SBDG (128.85 $\pm$ 15.63), SDGC_{1%} (117.52 $\pm$ 8.45) et SDGC_{2%} spiruline (116.62 $\pm$ 5.59). Ceci nous a permis d'avoir des IG inférieurs à 100. Les sirops de dattes enrichis avec la spiruline ont donné les valeurs les plus faibles.



A



B



C

Fig. 23- Evolution de la glycémie en (g /l) postprandiale, après ingestion de l'aliment de référence (Glucose), A : Sirop de dattes (SDBG) B : Sirop +1% de spiruline (SDGC_{1%}), C : Sirop + 2% de spiruline (SDGC_{2%})

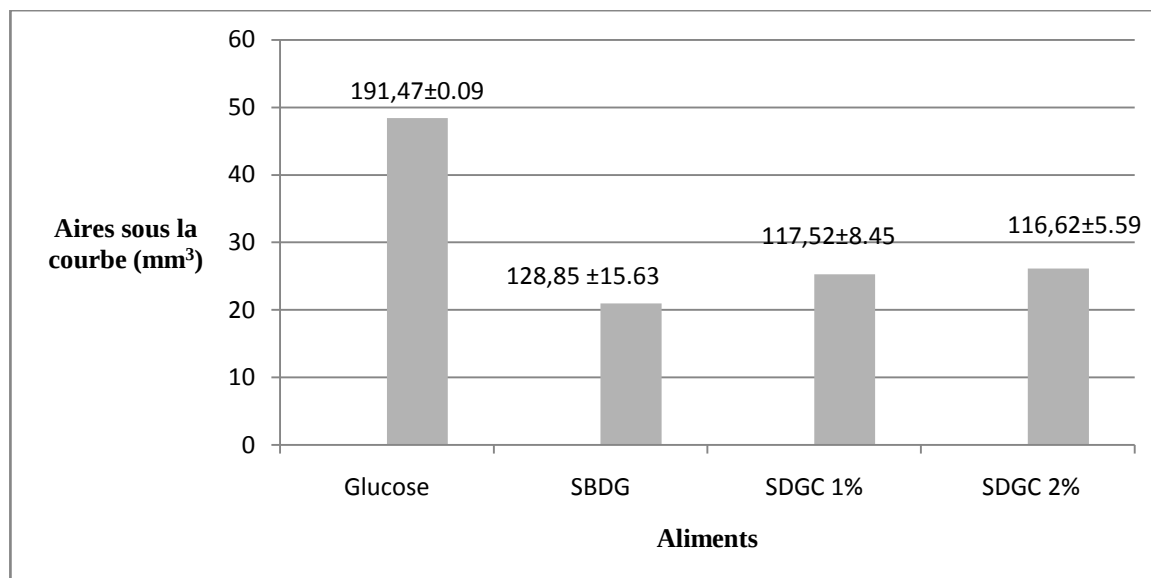


Fig. 24-Valeur moyenne des aires sous la courbe

Les résultats de la détermination des IG sont présentés dans la figure 25. On remarque des index glycémiques calculés différents.

Le sirop de dattes témoin (SBDG) présente un IG modéré puisqu'il est égal à 61.51 donc inférieur à 70 (ASSAL, 1994). L'IG des SDGC 1% et 2% est égale à 56.03 et 55.22 respectivement. Rappelons, que l'IG des dattes dont il est issu (Ghars) égal à 43,23. L'analyse statistique montre une différence significative entre le témoin et les sirops complémentés (SBDG et SDGC 1% et 2%) ($F = 4,98$, $P = 0,009$). La différence entre les SDGC 1% et SDGC 2% paraît non significative ($F = 0,08$, $P = 0,779$).

L'index glycémique du SBDG passe donc de 61.51 à 56,03 grâce à l'addition de spiruline à raison de 1% et à 55.22 avec 2% de spiruline. Ceci est le résultat de la diminution de la vitesse de digestion des sirops complémentés, provoquée par la présence des macronutriments apportés par la spiruline, ce qui rend les glucides moins rapidement disponibles, entraînant de ce fait l'abaissement de l'IG (DAVID, 2011).

Les résultats obtenus montrent que la consommation de ces sirops n'a pas entraîné d'excursions glycémiques post-prandiales importantes (delta SDGC_{1%} - 0.004 et delta SDGC_{2%} 0.02), ce qui suggère que les patients peuvent consommer ces sirops notamment ceux enrichis avec la spiruline, en quantité similaire à celle utilisée dans cette étude (61.93g) sans risque d'induire l'élévation glycémique postprandiale indésirable.

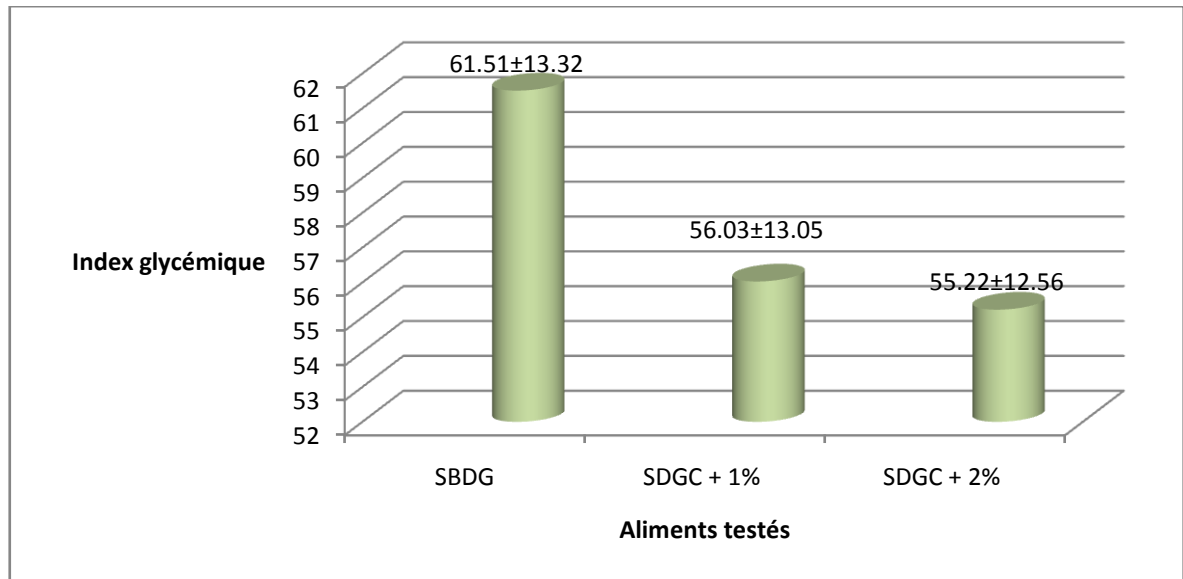


Fig. 25-Index glycémique du SBDG et des SDGC

L'étude achevée par JENSEN *et al.* (2011), sur les effets différentiels de sources de protéines alimentaires (lactosérum, gluten, caséine) sur la réponse post-prandiale après l'ingestion d'un repas riche en graisses chez 11 sujets non diabétiques et obèses, montre que le lactosérum présente une réponse postprandiale globale inférieure par rapport aux autres repas et l'aliment de référence.

De ce qui précède, nous pouvons classer les sirops de dattes complémentés (SDGC) parmi les aliments à IG modéré voire faible car leur IG est inférieur à 70.

3.2.5.3.2. Détermination de la charge glycémique

Si la notion d'index glycémique reste la plus répandue pour mesurer les variations de l'impact d'un aliment sur la glycémie, la charge glycémique est également une notion importante car elle renseigne sur la quantité de glucides ingérée. La charge glycémique d'un aliment correspond au produit de l'index glycémique par la teneur en glucides de cet aliment. Cette notion, plus complète que l'IG seul, englobe à la fois les aspects qualitatif et quantitatif des glucides d'un aliment mais n'informe cependant pas quant à la complexité des interactions entre nutriments dans le bol alimentaire (DAVID, 2011).

Les produits sont classés selon leur CG en aliment à CG :

- basse : inférieure à 10 ;
- moyenne : comprise entre 11 à 19
- élevée : supérieure à 20 (BASEDEVANT *et al.*, 2001),

La CG des SDGC est comprise entre 19.72 ± 4.65 et 20.01 ± 4.48 (Fig. 26) ce qui nous permet de classer les produits élaborés parmi les aliments à CG moyenne. Cependant, le SBDG présente une CG de l'ordre de 21.96 ± 4.71 . Cette valeur paraît relativement élevée par rapport aux valeurs recommandées (inférieurs à 20). Ainsi, la spiruline semble améliorer la charge glycémique du sirop brut de dattes Ghars.

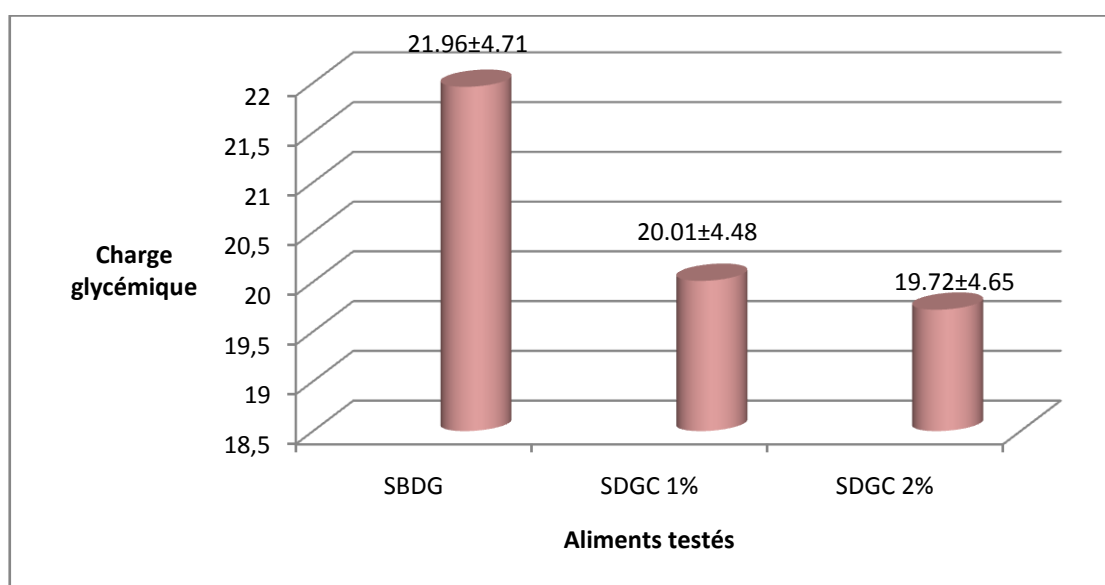


Fig. 26- Charge glycémique du SBDG et des SDGC

Une étude a été réalisée par LACOMBE et GANJI (2010), sur l'effet des aliments à charge glycémique faible ou Low Glycemic Load (LGL) et ceux à charge glycémique élevée ou High Glycemic Load (HGL) sur la faim et la satiété, chez des enfants âgés de 4 - 6 ans. L'étude montre que les enfants concernés par les aliments du groupe LGL, en consomment des quantités significativement faibles au petit déjeuner par rapport à ceux du groupe HGL. La composition des LGL se distingue de celle des HGL par la présence en plus des sucres totaux et des fibres, de quantités plus élevées de protéines et de graisses. Les auteurs montrent que la satiété chez les enfants dans le groupe LGL est remarquable. Les aliments possédant un IG Bas donc une CG basse (LGL) agissent sur la faim (sensation de satiété progressive), 2 à 6h après ingestion (assimilation lente des sucres) alors que les aliments à IG élevé (HGL) provoquent une sensation de satiété rapide et brève (DAVID, 2011). C'est la raison pour

laquelle les régimes alimentaires comportant des aliments à LGL peuvent être recommandés dans le cadre d'une alimentation saine pour les enfants et les adultes.

Au terme de cette partie de ce travail, nous pouvons conclure, que les résultats obtenus par la cristallisation du glucose du sirop brut de dattes Ghars sont probants. L'élimination de la fraction cristallisée à partir de ce dernier a permis de le rapprocher des HFCS de 2^{ème} voire de 3^{ème} génération. Ces résultats sont confortés par la caractérisation qualitative des sucres (CCM mono et bidimensionnelle), quantitative (teneur en fructose 78%) et diététique (IG 12). Ce sirop obtenu (**HFDS 2**) est un bioproduit qui peut être obtenu facilement par la méthode physique même à l'échelle ménagère. Il est riche en constituants nutritifs provenant de la datte. Il est moins onéreux par rapport aux HFCS non disponibles sur le marché algérien. Les travaux entrepris ont été complétés par des essais d'incorporation de spiruline source de protéines susceptibles d'améliorer l'IG des SBDG. Le résultat est tout aussi concluant puisque cette complémentarité a permis une régression de l'IG qui est passé de 61 à 56 et 55 respectivement pour le SDGC 1% et SDGC 2%. Ainsi, nous avons pu mettre au point à partir du sirop brut de dattes Ghars, trois autres produits dérivés caractérisés par des IG modérés et des CG moyennes. Ces bioproduits élaborés par la présente étude peuvent être consommés par les enfants, les adolescents, les convalescents, les femmes en grossesse, les femmes allaitantes, les sportifs et particulièrement les personnes cherchant à réguler leur glycémie ainsi que les obèses.

3.2.6. Qualité hygiénique des sirops bruts de dattes

La qualité hygiénique d'un produit alimentaire est un critère à prendre en considération. Pour cette raison, le sirop brut des dattes Ghars a été soumis à des analyses microbiologiques. Le nombre de germes dans les jus fraîchement pressés est souvent très élevé et dépend de l'état du fruit et du type d'extraction et un traitement thermique ne peut pas améliorer la qualité hygiénique d'un aliment si la matière première est de mauvaise qualité.

Le taux de germes totaux, de levures et de moisissures enregistrés lors de l'analyse du sirop (Tableau XVII) semble conforme aux normes préconisées pour les produits secs par l'arrêté de juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires :

$M = 10^4$ moisissures par ml

$M = 10^3$ levure par ml

M : étant le seuil maximal d'acceptabilité au-delà duquel les résultats ne sont plus considérés comme satisfaisants

Le sirop élaboré présente donc une bonne qualité microbiologique quelque soit son état : frais ou après 12 mois de stockage (Photo 12). Les opérations effectuées lors de l'élaboration des sirops à savoir le triage, le lavage, ressuyage des dattes semblent être à l'origine des résultats obtenus. En outre, le traitement thermique d'extraction à 80°C pendant 24 heures, suivie d'une concentration à 60°C semble avoir également joué un rôle efficace sur la qualité microbiologique du produit.

Tableau XVII : Analyses microbiologiques du sirop à l'état frais et après stockage

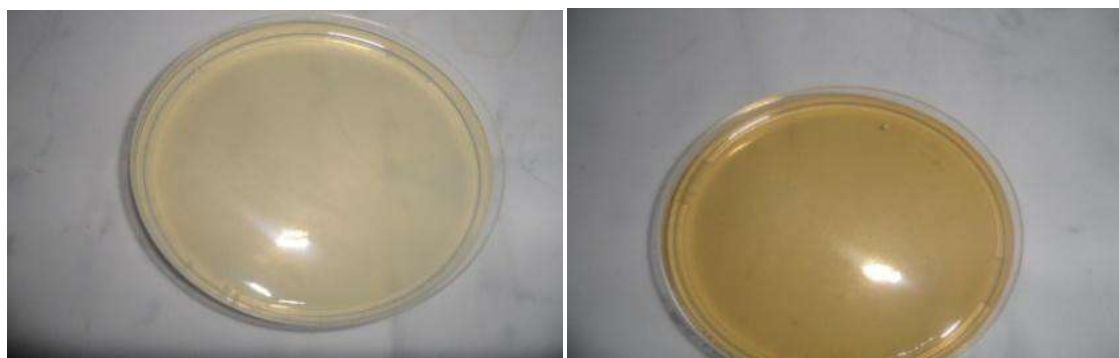
Micro-organismes cfu/ml	Germes totaux	Levures	Moisissures	pH
Sirop frais	0	0	10	3.50
Sirop stocké	0	3×10^1	3.66×10^1	4.25

Des résultats comparables ont été rapportés par MESSAID (2008), qui en analysant la qualité bactériologique du sirop de dattes à base de la variété Mech Degla a trouvé que ce dernier présentait une qualité microbiologique acceptable : taux de moisissures 2.10^3 cfu /ml et levure et germes totaux inexistantes. De même, NAZARI (2011), en analysant la qualité microbiologique de sirop de dattes variété Kabak, a enregistré un nombre de colonies de l'ordre de 400 cfu/ml.

3.2.6.1. Observation macroscopique

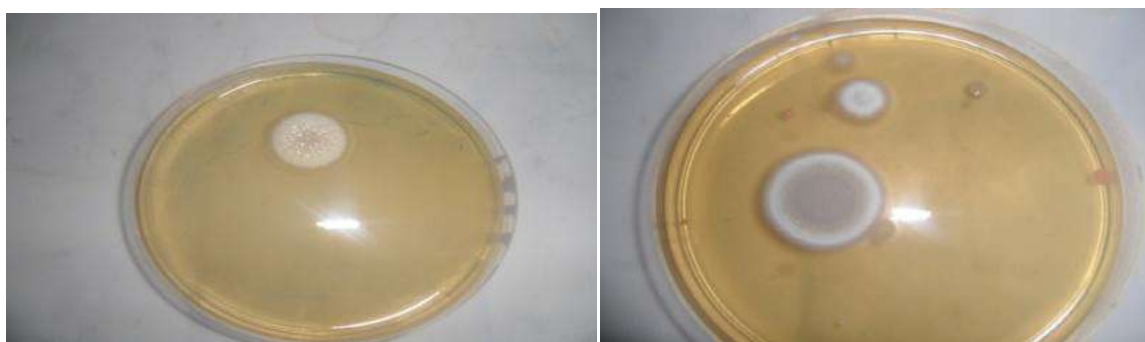
L'examen macroscopique consiste en la description de la taille, la forme, l'aspect de la surface, la coloration et l'opacité des colonies (Photo 13).

Nous avons tenu compte de la première dilution (10^{-1}) qui a permis l'obtention de colonies isolées dont le nombre est compris entre 30 et 300 conformément aux travaux de (MADIGAN et MARTINKO, 2007).



A

B

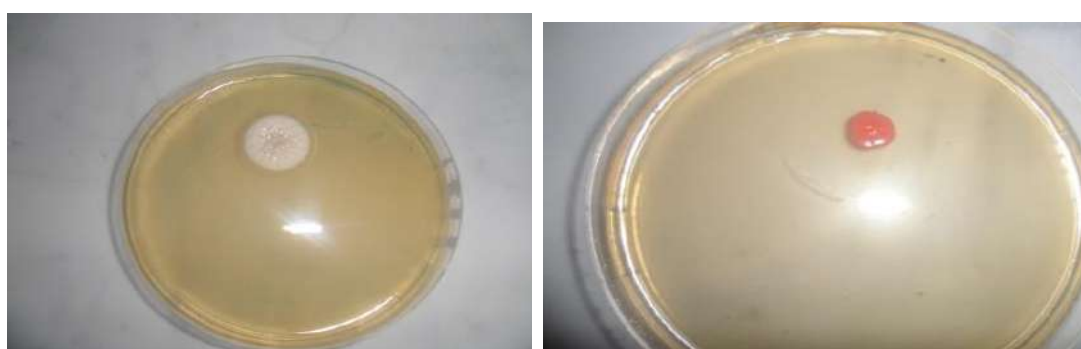


C

D

A : Absence des germes totaux dans le sirop frais, B : Absence des germes totaux dans le sirop stocké, C : Absence des levures et la présence des moisissures dans le sirop frais, D : Présence des levures et des moisissures dans le sirop stocké

Photo. 12- Caractérisation des germes totaux, les levures et les moisissures dans le sirop frais et stocké



A

B

A : Colonie 1 développée sur milieu OGA B : Colonie2 développée sur milieu OGA

Photo. 13- Observation macroscopique de colonies développées sur milieu OGA pour le sirop stocké

L'observation macroscopique montre deux types de colonies qui diffèrent par plusieurs caractéristiques. La première colonie (A) présente un diamètre de 8 mm environ alors que la seconde (B) est beaucoup plus petite (1 à 1,5 mm) (Tableau XVIII). Les deux colonies ont un aspect différent. La première colonie est opaque, de couleur blanchâtre à contour dentelé. Elle présente une texture filante et une surface lisse (Photo 13 A). La deuxième colonie, de couleur rougeâtre, et de forme ronde, présente une texture dure, une surface lisse, brillante et bombée et un contour non dentelé (Photo 13 B).

Tableau XVIII- Description de colonies isolées à partir du sirop de dattes en milieu OGA

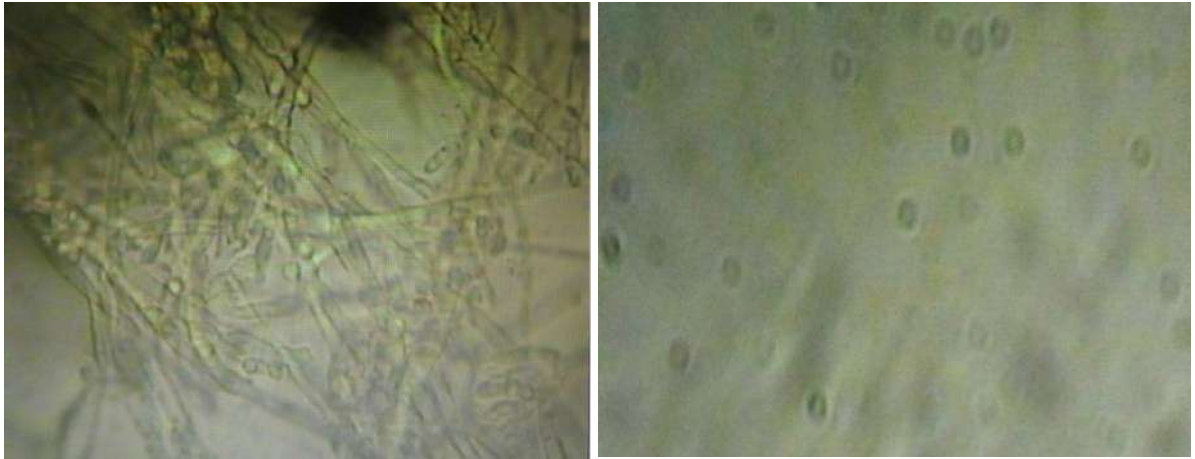
	Colonie 1	Colonie 2
Taille (mm)	8	1 à 1,5
Forme	ronde	ronde
Aspect de la surface	rugueux	lisse, brillante et bombée
Coloration	blanchâtre	rougeâtre
Consistance	filantes	dure
Contour	dentelé	non dentelé
Opacité	opaque	opaque

Les levures et moisissures sont des micro-organismes très variés, et ne peuvent pas toujours être distingués macroscopiquement les uns des autres. Comme pour les autres méthodes, une différenciation peut être réalisée après observation microscopique.

3.2.6.2. Observation microscopique

Colonie 1 : L'observation microscopique (x 400) à l'état frais, montre des hyphes cloisonnés. Ces structures cellulaires forment un mycélium. Les spores sont exogènes. Il s'agit donc d'un ascomycète du genre *Aspergillus* probablement du fait du pH acide du milieu (Photo 14 A). Ce résultat est conforté par celui trouvés par NAZARI, (2011). Ce dernier confirme la présence de mycélium d'*Aspergillus* dans le sirop de dattes.

Colonie 2 : L'observation microscopique montre, la présence de cellules immobiles, plus ou moins ovoïdes. Leur cytoplasme semble entouré d'une membrane épaisse. Il s'agit de levures (Photo 14 B). Des résultats similaires sont rapportés par NAZARI, (2011).



A : Cellules de (Ascomycètes)

B : levure

Photo. 14- Observation microscopique de colonies développées sur milieu

OGA pour le sirop (x 400)

Le sirop élaboré présente donc une bonne qualité microbiologique quelque soit son état : frais ou après 12 mois de stockage.

Bien que ce produit renferme des concentrations suffisantes en glucides, en éléments minéraux, en vitamines, qui ont font un milieu favorable pour la prolifération de certains microorganismes, son pH de l'ordre de 4 et sa forte concentration en sucre en font un milieu non propice pour les pathogènes. Seules les espèces osmophiles telles que les bactéries acétiques, les levures et les champignons peuvent s'y développer. Ces derniers généralement non pathogènes, peuvent seulement déprécier la qualité organoleptique seulement (SIBOUKEUR, 1997).

Conclusion

Conclusion

En Algérie, le palmier dattier joue un rôle socio-économique important. Avec une superficie de 170 000 Ha et environ 18.7 millions de pieds et plus de 1000 cultivars, notre pays est appelé à intégrer cette espèce végétale, dans son processus de développement, par la transformation de la dattes et la valorisation des sous produits du dattier.

L'objectif assigné à la présente étude vise à déceler certaines potentialités des dattes de la variété la plus répandue dans la région de Ouargla et plus prisée par la population autochtone : la variété Ghars. Des travaux, mêmes en parallèle, sur trois autres variétés célèbres de dattes : Deglet Nour, Degla Beida et Addela, nous ont permis de déterminer le profil technologique, nutritionnel et diététique particulier des dattes Ghars.

Malgré l'existence de nombreux tableaux de classification des aliments glucidiques selon leurs IG, aucun d'entre eux ne précise la variété étudiée de dattes ni même sa consistance (molle, demi-molle et sèche). Les résultats bibliographiques font mention d'un même et seul IG pour les dattes les classant parmi les aliments les plus hyperglycémiant, vivement déconseillés aux diabétiques et aux obèses.

Les résultats de la présente étude contestent ces données bibliographiques. En effet, les IG que nous avons enregistrés se situent entre 43.27 ± 14.05 et 53.95 ± 23.42 , contre 100 valeurs rapportées par les documents consultés. Globalement les dattes analysées lors de la présente étude, enregistrent des IG relativement bas puisqu'ils sont inférieurs à 56. La consommation de ces variétés de dattes, n'a pas provoqué une augmentation de glycémie post-prandiale importante chez une cohorte humaine. Ces résultats sont de nature à classer ces quatre variétés de dattes parmi les aliments à faibles IG. De récents travaux ont permis de conforter nos conclusions. En effet, des chercheurs du golf situent l'IG de 5 variétés (Fara'd, Lulu, Bo Ma'an, Dabbas et Khalas) de dattes locales entre 46.1 et 55.1

Au terme de cette partie de nos investigations, nous avons retenu les trois variétés les plus répandues dans la cuvette de Ouargla, pour des essais d'élaboration de sirops à effet glycémiant le plus faible possible. Elles se caractérisent par une teneur en sucres totaux comprise entre 67.33 et 71.79%, une teneur en protéines comprise entre 0.81 et 1.10 %, une teneur en fibres comprise entre 3.90 et 4.15%, une teneur en cendres comprise entre 2.10 et 4%.%. La présence de 7 éléments minéraux : Fe, Mg, Ca, Cl, K, Zn et Na en quantités non négligeables a été également mise en évidence dans ces fruits.

Nous avons fait appel à une technique d'extraction relativement simple : extraction par diffusion passive dans de l'eau maintenue à 80°C suivie d'une condensation de l'extrait à 60°C permettant d'obtenir un sirop.

Les sirops expérimentaux présentent une qualité organoleptique intéressante, notamment la flaveur et la couleur. Leur qualité nutritive est également appréciable puisque leur teneur en glucides est comprise entre 70.01 - 73.68%, celle en protéines se situe entre 0.97 et 1.15 %, celle en fibres entre 2 et 3.86%, celle en cendres entre 0.96 - 2.73 %. La présence de 7 éléments minéraux contenus dans la datte est détectée dans les sirops. Leur quantité non négligeable a été mise en évidence.

Parallèlement, nous avons procédé au calcul des rendements en sirop. Les résultats obtenus nous ont permis de retenir la variété Ghars pour son aptitude à produire du sirop avec un rendement plus important (47.5% versus 40.99 pour Deglet Nour et 18.82% pour Degla Beida).

Ainsi, le premier produit élaboré est le sirop brut de dattes Ghars (SBDG). Dès son élaboration ce sirop présente une composition glucidique proche de celle des HFCS de 1^{ère} génération (42% fructose), produits de l'industrie d'amidon, utilisé dans l'industrie des boissons (light) comme succédané du saccharose. En effet, le SBDG présente une teneur en fructose égale à $39.10 \pm 0.001\%$. Ce bioproduit possède un IG modéré, soit 61.51 ± 10.98 . L'obtention de ce sirop est moins complexe que celle des HFCS qui fait appel à l'hydrolyse de l'amidon et l'isomérisation glucose, exigeant le recours à des bioréacteurs. Le SBDG présente en outre l'avantage de pouvoir être fabriqué à l'échelle ménagère et est donc un produit à forte valeur ajoutée. Quant au fructose, édulcorant le plus usuel, il est disponible en pharmacie et en parapharmacie mais inaccessible par la majorité des consommateurs diabétiques vu son coût relativement élevé (38 à 40 Euros : 530 DA/Kg). Il est également important de signaler la non disponibilité des HFCS sur le marché national, leur fabrication étant monopolisée par les USA et la France.

Du point de vue nutritionnel, le SBDG possède une composition biochimique plus intéressante que celle des HFCS, puisque les substances hydrosolubles de la datte diffusent dans leurs sirops. Sous cette forme brute, le SBDG peut être destiné aux enfants, aux sportifs, aux femmes enceintes, aux femmes allaitantes et aux convalescents.

Dans l'optique d'améliorer la composition du SBDG afin de la rapprocher le plus possible de celle des HFCS de 2^{ème} (fructose 55%) voire de 3^{ème} génération (fructose 90%),

nous avons fait appel à une technique simple qui consiste en la cristallisation du glucose suite à un stockage du sirop à 4°C, durant une période déterminée. Nous avons alors obtenu un dérivé du SBDG que nous avons dénommé Sirop de dattes à haute teneur en fructose (SDHF) du fait de son taux de fructose qui est passé de 39.10% à 78%, ce qui le rapproche des HFCS de 3^{ème} génération. Quant à la teneur en glucose, elle est passée de 40.86% à 1.8%. Des chromatographies sur couche mince mono et bidimensionnelle, ont mis en évidence la pureté de la fraction fructose. Enfin le calcul de l'IG du SDHF conforte les résultats obtenus, puisqu'il est égal à 34. Un autre avantage de ces produits expérimentaux mérite d'être évoqué. Il s'agit de l'hypertriglycémie provoquée par une consommation excessive de fructose édulcorant commercialisé ou de celle des HFCS, favorisant les maladies cardiovasculaires alors que le fructose natif contenu dans les sirops n'a pas cet effet du fait de la présence d'autres substances facilitant son assimilation.

Par ailleurs, la qualité diététique du SBDG a pu être rehaussée par addition d'une source protéinique ayant permis de faire baisser l'IG. La spiruline a été utilisée dans la présente étude du fait de son intérêt nutritionnel et diététique. Sa teneur en protéines, de l'ordre de 60 à 70% de son poids sec en fait un complément protéinique intéressant.

Le SBDG a donc été complété par cette algue bleu vert à raison de 1 et 2%. Nous avons donc obtenus deux nouveaux dérivés que nous avons dénommés sirop de dattes Ghars complété 1% spiruline (SDGC_{1%}) et sirop de dattes Ghars complété 2% spiruline (SDGC_{2%}). Ces produits ont subi au même titre que les dattes et les autres sirops des tests afin de déterminer leur IG. Les résultats montrent des pics hyper-glycémiques post prandiaux moins élevés comparativement à celui obtenu avec le sirop brut soit 1.08 g/l et 1,05 g/l respectivement dans le cas le SDGC_{1%} et le SDGC_{2%} versus 1.55 g/l dans le cas du SBDG. Concernant les valeurs de leur IG respectifs, elles sont égales à 56.03 et 55.22 contre 61.51 pour le SBDG.

Pour étayer cette étude, nous avons calculé la charge glycémique (CG) de ces derniers. Cette notion importante renseigne sur la quantité de glucides ingérée. La charge glycémique d'un aliment correspond en effet au produit de l'index glycémique par la teneur en glucides de cet aliment. Les résultats indiquent des charges glycémiques moyennes car égale respectivement à 19.72 ± 4.48 et 20.01 ± 4.65 pour le SDGC_{1%} et le SDGC_{2%} versus 21.96 ± 4.71 dans le cas du SBDG. Rappelons que des valeurs inférieures à 20 sont recherchées. Ces données peuvent être expliqués par la vitesse d'absorption des glucides qui est influencée par

la composition d'aliment. Celui-ci sera d'autant moins glycémiant, qu'il contient des protéines et des fibres.

Ces résultats nous permettent de caractériser les produits élaborés expérimentalement d'hypoglycémiants.

L'analyse microbiologique de ces sirops de dattes met en évidence une bonne qualité hygiénique à l'état frais et même après une année au moins de stockage.

Enfin, on peut conclure que ces procédés technologiques assez simples et peu coûteux pourrait être en mesure de contribuer à préserver le patrimoine phoenicicole tout en offrant des nouveaux produits nutritifs et diététiques à conservation aisée. Ces produits peuvent être mis à la disposition des consommateurs sains, diabétiques et/ou obèses. Toutefois étant donné que les quantités de fructose recommandées pour les diabétiques ne doivent pas dépasser 40 g/jour, la quantité de sirop préconisée doit être de l'ordre de 50 g de sirop brut répartis dans la journée. Les sirops dérivés peuvent par contre être consommés en quantités plus élevées soit 60 g répartis dans la journée.

Toutefois, cette étude nécessite des investigations supplémentaires, indispensables étant donné la place qu'occupent ces produits par rapport à la santé du consommateur. Nous préconisons à cet effet les actions suivantes :

- * augmenter le taux d'extraction par épuisement des substances solubles en vue d'augmenter les rendements dans le cas des SBDG ;

- * étant donné la lenteur de la phase de cristallisation du glucose du SBDG, dans le cadre de l'élaboration du SDHF, une germination (ou nucléation) pourrait accélérer le processus recherché ;

- *entreprendre dans la mesure du possible (disponibilité des réacteur et de la glucose-isomérase...), des essais d'isomérisation du glucose en fructose du SBDG comme dans le cas des HFCS ;

- * valorisation du glucose récupéré, donc création d'une valeur ajoutée ;

- * étudier les possibilités d'augmenter le taux d'incorporation de spiruline dans le cas des SDGC en tenant compte de sa qualité hédonique ;

* proposer des conseils d'utilisation de chaque produit par les individus vulnérables notamment les diabétiques et les obèses

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDELFATTAH A. C. (1990).** La date et le palmier dattier. Ed Dar El-Talae, Caire.
- AHMED I. A., AHMED A. K. and ROBINSON R. K. (1995).** Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food. Chem.*, 54, 305-309.
- AHMED J. and RAMASWAMY H. S. (2006).** Physico-chemical properties of commercial date pastes (*Phoenix dactylifera*). *J. Food. Engineering.*, 76, 348-352.
- AIT-AMEUR L. (2001).** L'évolution de la qualité nutritionnelle des protéines de biscuits modèles au cours de la cuisson au travers d'indicateur de la réaction de Maillard : intérêt de la fluorescence frontale. Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique. Paris Grignon, ([http : //pastel.parIstech.org/2269](http://pastel.parIstech.org/2269)).
- AL JASSER M. S. (2009).** Physiochemical composition of dates fruit (*Phoenix dactylifera L.*) from offshoots and cultured cells at different stages. *J. Food. Tech.*, 7, 102-105.
- ALAIS G. et LINDEN G. (1987).** Biochimie alimentaire. Edition Masson, Paris, 102.
- ALANAZI F.K. (2010).** Utilization of date syrup as a tablet binder, comparative study. *Saudi. Pharmaceutical. Journal.*, 18, 81–89.
- ALBERTS A., BRAY D., JOHNSON A., LENIS J., RAFF M., ROBERTS K. et NATER P. (2002).** L'essentiel de la biologie cellulaire. Ed Delevigne, Paris.
- ALDHAHERI A., ALHADRAMI G., ABOALNAGA N. and ELRIDDI M. (2004).** Chemical composition of date pits and reproductive hormonal status of rats fed date pits. *Food. Chem.*, 86, 93-97.
- AL-EID S. M. (2006).** Chromatographic separation of fructose from date syrup. *Int. J. Food. Sci. Nutr.*, 57, 83-96.
- AL-FARSI M., ALASALVAR C., MORRIS A. BARON M. and SHAHIDI A. (2005).** Compositional and sensory characteristics of three native sun-dried date (*Phoenix dactylifera L.*) varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, 53, 7586-7591.
- AL-FARSI M., MORRIS A. and BARON M. (2006).** Functional properties of Omani dates (*Phoenix dactylifera L.*). The third International Date Palm Conference. Abu Dhabi, United Arab Emirates.
- AL-FARSI M.A. (2003).** Clarification of date juice. *International Journal of Food Science and Technology.*, 38, 241–245.
- AL-FARSI M.A. and LEE C.Y. (2008).** Nutritional and functional properties of dates. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.*, 48, 877-87.
- AL-GBOORI B. and KREPL V. (2010).** Importance of date palms as a source of nutrition. *Journal. Agricultura. Tropicaet. Subtropica.*, 43 (4), 341 – 347.

- AL-HOOTI S. N., SIDAV J. S., ALSAQER J. M. and AL-OTHMAN A. (2002).** Chemical Composition and Quality of Date Syrup as Affected by Pectinase, Cellulose Enzyme Treatment. Biotechnology, Department Kuwait, Institute for Scientific Research Safa Kuwait : 215-220.
- AL-JASSER M. (2010).** Effect of storage temperatures on microbial load of some date palm fruit sold in Saudi Arabia market. *Afric. J. Food. Sci.*, 4:359-363.
- ALKAABI J. M., AL-DABBAGHI B., AHMAD S., SAADI H. F., GARIBALLA S. and AL GHAZALI M. (2011).** Glycemic indices of five varieties of dates in healthy and diabetic subjects. *J. Nutr.*, 59, 1-10.
- AL-KHATEEB A. A. (2008).** Enhancing the growth of date palm (*Phoenix Dactylifera L.*) in vitro tissue by adding date syrup to the culture medium. *Sci. J. King Faisal University.*, 19, 71-85.
- ALLAITH A. A. (2008).** Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits of various cultivars. *Inter. J. Food. Sci. Tech.*, 43(6), 1033-1040.
- AL-SHAHIB W. and MARSHALL R. J. (2003).** 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. MARSHALL R. J. (2003).** The fruit of the date palm: it's possible use as the best food for the future. *Int. J. Food. Sci. Nutr.*, 54(4), 247-259.
- AMMAR A. S. M. (2012).** Effect of wheat germ addition of physicochemical and antioxidant properties of date syrup. *American Journal of Food Technology.*, 7(8), 479 - 486.
- ANGELOPOULOS T. J. (2009).** The effect of high-fructose corn syrup consumption on triglycerides and uric acid. *J. Nutr.*, 139(6), 1242-1245.
- ANONYME-1 (2012).** Direction .Service .Agricole, Statistiques de la commune de Ouargla. Rapport annuel.
- ANONYME-2 (2005).** Official Methods of Analysis (18th edn.). Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Washington. DC.
- ANONYME-3 (1997).** FAO/OMS, Carbohydrates in human nutrition. www.fao.org/docrep/w8079e/w8079e00.htm
- ANONYME-4 (2007).** FAO. La production des dattes dans le monde. Statistiques Agricoles
- ARRIGNON J. (2004).** Aquaculture de A à Z. Ed TEC & DOC, 11, rue Lavoisier F-75008 Paris. Londres, Paris-New-york.
- ASSAL J., MEKOE P.B et SLAMA G. (1994).** Le diabète sucré 2^{ème} Ed, MASSON, Paris .PP 154-164.

- AUDIGIE C.I., DUPONT G. et ZONSZAIN F. (1995).** Principes des méthodes d'analyse biochimie. Tome 1. Edition Doin, Paris.
- BACHA M. A. and ABO-HASSAN A. A. (1983).** Effects of Soil Fertilization on Yield, Fruit Quality and Mineral Content of Khudari Date Palm Variety. Actes du Colloque "The First Symposium on The Date Palm", King Faisal University, Al-Hassa Kingdom of Saudi Arabia : 174-180.
- BAHRAMIAN A. S., MEHRDAD A., MOHAMMAD C. and GERAMI A. (2011).** Optimization of Enzymatic Extraction of Sugars from Kabkab Date Fruit. *Middle-East, Journal of Scientific Research.*, 7 (2), 211-216.
- BAHRAMIAN S. MEHRDAD A. MOHAMMAD C. and ABBAS G. (2011).** Optimization of Enzymatic Extraction of Sugars from Kabkab Date Fruit. *Middle-East Journal of Scientific Research.*, 7 (2), 211-216.
- BARKER P. E., IRLAM G. A. and ABUSABAH E. K. (1984).** Continuous chromatographic separation of glucose – fructose mixture using anion – exchange reins. *Chromatographia.*, 18, 567-574.
- BASDEVANT A., LAVILLE M. et LEREBOURE E. (2001).** Traité de nutrition clinique de l'adulte. Ed, Flammarion, Paris, pp 16-22.
- BECKER E .W. (2007).** Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advance.*, 25, 207-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>.
- BELAY A. (2002).** The Potential Application of *Spirulina (Arthrospira)* as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management. *The Journal of the American Nutraceutical Association.*, 5, (2), 27 – 48.
- BELGUEDJ M. (2002).** Caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. *Revue : Les Ressources Génétiques du Palmier Dattier.*, 245 – 251.
- BENAHMED D. A. (2012).** Analyse des aptitudes technologiques de poudres de dattes (*Phoenix dactelifera.L*) améliorées par la spiruline. Etude des propriétés rhéologiques, nutritionnelles et antibactériennes. Thèse Doctorat, Université M'hamed bougara-Boumedes, 21- 48.
- BENAMARA S., GOUGAM H., AMELLAL H., DJOUAB A., BENAHMAD- DJILALI, A. and NOUI Y. (2008).** Some technologic proprieties of common date (*Phoenix dactelifera L*), fruits. *Am. Journal. Food. Technol.*, 3 (2), 79 – 88.
- BENAOUDA N. (1994).** Valorisation des variétés de dates sèches (Degla Beid) en fanification. Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie. INFSAS Ouargla. 41p.
- BENSAYAH F. (2014).** Influence des conditions de stockage au froid des dattes sur leur qualité organoleptique dans les zibans (cas de la variété Deglet Nour). Mémoire de Magister, Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla.
- BERGUEY S. (1994).** Manual of determinative Bacteriology. Ed ninth., 1711 – 1807.

- BERINDI A. (2000).** La technologie de palmier dattier. Ed. Dimechk. Damas., 94 – 101.
- BESANÇON S. (2004).** Analyse de la consommation des patients diabétiques maliens. ONG Santé diabète mali, rapport final d'activité, Nov ., 1-62
- BIGLARI F. A., ALKARKHI F. M. and EASA A. M. (2009).** Cluster analysis of antioxidant compounds in dates (*Phoenix dactylifera*) : Effect of long-term cold storage. *Food. Chemistry.*, 112, 998-1001.
- BIMBENET J., DUQUENOY A., TRYSTRAM G. (2007).** Génie des procédés alimentaires, des bases aux applications. 2^{ième} Ed RIA., 182-193.
- BLAIR R. M. HENLEY E. C and TABOR A. (2006).** Soy foods have low glycemic and insulin response indices in normal weight subjects. *Nutrition Journal.*, 5 (35), 1 - 10.
- BLINKOVA L. P., GOROBETS O. B. and BATURO A. P. (2001).** Biological activity of Spirulina. *Zh. Mikrobiol. Epidemiol. Immunobiol.*, 2, 114-8.
- BOUAZIZ. S., OULD EL HADJ. M D. (2010).** Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de quelques types de vinaigres traditionnels de dates obtenues à partir de quelques variétés de la région de Ouargla, *Annales des Sciences et Technologie.*, 2 (1) , 81 -80.
- BOUGHNOU A. (1980).** Essai de production de vinaigre à partir de déchets de dattes. Thèse Magister. INA Alger.
- BOUGUEDOURA N. (1991).** Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier. Etude in situ in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Thèse de doctorat U.S.T.H.B, Alger, 201.
- BOUKHIAR A. (2009).** Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien : essai d'optimisation. Ed. Universitaire M'Hamed Bougara, Magister : Technologie alimentaire : Boumedès.
- BOURGEOIS, C. M., MESCLE J. F. et ZUCCA A. J. (1988).** Microbiologie Alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Tome 1, Ed. Lavoisier. Paris.
- BRAND-MILLER J., MCMILLAN-PRICE J., STEINBECK K. and CATERSON I. (2009).** Dietary glycemic index: health implications. *Journal of the American College of Nutrition.*, 28, 446-449.
- BRANGER B., CADUDAL J. L., DELOBEL M., OUOBA H., YAMEOGO P., OUEDRAOGO D., GUERIN D., VALEA A., ZOMBRE C. and ANCEL P. (2003).** La spiruline comme complément alimentaire dans la malnutrition de nourrisson au Burkua-Faso archives de pédiatrie., 10, 424 – 431.
- BRAY G. A. (2008).** Fructose : should we worry. *Int. J. Obes. (Lond).* Dec, 7, 127- 137.

- BRAY G. A., NIELSEN S. J. and POPKIN B. M. (2004).** Consumption of high-fructose corn syrup in beverages may play an important role in the epidemic of obesity. *Am. J. Clin. Nutr.*, 79 (4), 537-543. Available at: <http://www.ajcn.org/cgi/content/short/79/4/537>. Accessed December 30, 2008.
- CHARPY L., LANGLANDE M .J. et ALLIOD R. (2008).** La spiruline peut-elle être un atout. *santé et le développement Afrique.*, 6 (17), 31 – 41.
- CHEHMA A. et LONGO H. F. (2001).** Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du détail. *Revue des énergies renouvelables.*, Numéro spécial : 59-60.
- CHEN X. and LI D. (2009).** Food powder technology. *Journal. Food Eng.*, 94, 120 -129.
- CHEYNIER V. et SARNI-MANCHADO, P. (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire. *Sciences et Technologie Agroalimentaire.* Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris.
- CHOI Y. K., JOHLIN F.C. and SUMMERS R.W. (2003).** Fructose intolerance: an under-recognized problem. *Am. J. Gastroenterol.*, 98, 1348-1353.
- CHRISTENSEN A. S., VIGGERS L., HASSELSTROM K. and GREGERSEN S. (2013).** Effect of fruit restriction on glycemic control in patients with type 2 diabetes – a randomized trial. *Nutrition Journal.*, 12(29), 1 – 6.
- CLEMENT D. M. (1978).** Dictionnaire des sciences alimentaires. Ed. Masson, Paris.
- COCATE P. G., PEREIRA L. G., MARINS J. C. B., CECON P. R., BRESSAN J, and ALFENAS R. C. G. (2011).** Metabolic responses to high glycemic index and low glycemic index meals: A controlled crossover. *clinical trial Journal.*, 10, 1 – 10.
- CRISTOPHE G. A. (2003).** Spiruline. Système sanguin, système immunitaire et cancer. Communication fait aux journées de l'AMPP (Association Médicale pour la promotion de la phytothérapie) :2-3.
- DATTA A. G., BANDYOPADHYAY D., CHATTOPADHYAY A. and GHOSH G. (2004).** Oxidative stress induced ischemic heart disease : protection by antioxidants. *Curr. Med. Chem.*, 11 (3), 369 – 389.
- DAVID A. (2011).** Index glycémique et le fructose de fruits : une spécificité validée. *N.A.F.A.S.*, 9(5), 33 - 45.
- DAVID W M. D., JAMELLE S., POOJA M and BRIAN Y. M. D. (2009).** Not So Sweet: Missing Mercury and High Fructose Corn Syrup. Institute for Agriculture and Trade Policy. Retrieved 2010-09-01.
- DECSI T. and KOLETZKO B. (2000).** Effects of protein-energy malnutrition and human immunodeficiency virus-1 infection on essential fatty acid metabolism in children. *Nutrititon.*, 16, 447-53.

- DEGBEY H., HAMADOU B. and OUMAROU H. (2006).** Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en spiruline du régime habituel des enfants atteints de malnutrition sévère. In Charpy et al (2008). Ed. International symposium on cyanobacteria for Health. Science and development, 104 – 108.
- DJERBI M. (1994).** Le précis de phoeniciculture. Ed. FAO, Rome : 52 – 58.
- DJOUAB A. (2007).** Préparation et incorporation dans la margarine d'un extrait de dattes des variétés sèches, Mémoire de Magister en Génie Alimentaire. Université M'Hamed Bougara Boumerdès, 43 – 132.
- DONALD V. et JUDITH G. V. (1998).** Biochimie. Masson 2^{ème} édition, Paris : 56 – 727.
- DOWSON W. H. et ATEN A. (1963).** Fonctionnaire technique (petites industries agricoles) Sous-Division du génie Rural. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, édition FAO, Rome.
- DUFFEY K. J and POPKIN B. M. (2008).** High-fructose corn syrup: Is this what's for dinner. *Am. J. Clin. Nutr.*, 88(6),1722-1732. Available at: <http://www.ajcn.org/cgi/content/abstract/88/6/1722S>. Accessed December 20, 2008.
- DURAND M. et FAVARD P. (1967).** La cellule. Ed. Hermann, n^o 2186, Paris : 38 – 39.
- EL HADRAMI A. and AL-KHAYRI J. M. (2012).** Socioeconomic and traditional importance of date palm. *Emir. J. Food. Agric.*, 24 (5), 371-385.
- ELLEUCH M., BESBES S., ROISEUX O., BLECKER C., DEROANNE C., DRIRA N. and ATTIA H. (2008).** Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food. Chem.*, 111, 676-682.
- ELLIOTT S. S., KEIM N. L. and STERN J. S. (2002).** Fructose, weight gain, and the insulin resistance syndrome. *Am J. Clin. Nutr.*, 76, 911- 922.
- EL-OGAIDI A. K. H. (1987).** Dates and Confectionery Product. F.A.O, Rome : 1 – 25.
- EL-OGAIDI A. K. H. (2000).** Le palmier dattier science technologique Agronomique et industrielle. Ed. Dar ezahran, Oman.
- ENTEZARI M. H., NAZARY S. H. and KHODAPARAST M. H. H. (2004).** The direct effect of ultrasound on the extraction of date syrup and its micro-organisms. *Ultrasonics Sonochemistry.*, 11, 379-384.
- ESPIRAD E. (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tec et Doc – Lavoisier, 147 – 155.
- FLORKIN M. et DUCHATEAU G. (1968).** Cent manipulations biochimiques simples. Ed. Desoer, 4^{ème} édition., Paris : 9 – 30.

- FOROUZAN S, RAHIMIRAD A and BANAFSHECHIN E. (2012).** Survey of Iranian Date Palm Concentrate Chemical Characteristics. *Middle-East Journal of Scientific Research.*, 12 (7): 1009-1011.
- FORSHEE R. A., STOREY M. L, ALLISON D. B., GLINSMANN W. H., HEIN G. L., LINEBACK D. R., MILLER S. A., NICKLAS T. A., WEAVER G. A. and WHITE. J. S. (2007).** A critical examination of the evidence relating high fructose corn syrup and weight gain. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 47, 561-582.
- FOSTER-POWELL K.S., HOLT H. A. et BRAND-MILLER J. C. (2002).** International table of glycemic index and glycemic load values. *American Journal of Clinical Nutrition.*, 76 (1), 5-56.
- FOX . D. R. (1999).** Algoculture, la spiruline, un espoir pour le monde de la faim. Ed- sud, Aix – en – Provence : 320.
- GABY. (2005).** Adverse Effects of Dietary Fructose. *Alternative Medicine Review.*, 10(4), 294-306.
- GAD A. S., KHOLIF A. M. and SAYEDA F. (2010).** Evaluation of the Nutritional Value of Fuctional Yogurt Resulting from Combination of Date Palm Syrup and Skim Milk. *American Journal of Food Technology.*, 5(4), 250 -259.
- GAMAL A., EL-SHARNOUDY., SALAH M., AL-EID and MUTLAG AL- OTAIBI M. (2009).** Utilization of enzymes in the production of liquid sugarfrom dates. *African Journal of Biochemistry Research.*, 3 (3), 041-047.
- GANBI H. (2012).** Production of Nutritious High Quality Date (*Phoenix dactylifera*) Fruits Syrup (Dibs) by using some Novel Technological Approaches. *Journal of Applied Sciences Research.*, 8(3), 1524-1538.
- GARCIN M., BRSILLION S., PITON A. and PERES G. (2001).** Does perceived exertion depend on glycemic index of foods ingested throughout three hours before a one-hour high-intensity exercise. *Perceptual and Motor Skills.*, 93 (3), 599-608.
- GIDDEY C. (1982).** Les produits à humidité intermédiaire, cas particuliers du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire. Ed. APRIA, Paris : 21-28.
- GILLES P. (2000).** Cultiver le palmier dattier. Ed. Ciras.
- GIRARD J. (1962).** L'évolution de la datte au cours de sa croissance et de sa maturation. Compte rendu des travaux de recherches effectués à la station d'El-Arifiane: 2-4.
- GIRARD. (2008).** Effets métaboliques différentiels des sucres. *Cah. Nutr. Diet.*, 43, 2 - 8.
- GODON B. et LOISEL W. (1991).** Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. 2^{ème} édition, Ed. Lavoisier-Tec et Doc, vol. 4, Paris.
- GRIMALDI A. et HEURTIER A. (1999).** Critères diagnostiques du diabète de Type 2. *Rev. Prat.*, 49, 8 - 16.

- GUERIN B., GAUTHIER A. et ORTHIEB J. (1982).** Série de synthèse bibliographique.: Les sirops (saccharose, glucose, fructose et autre édulcorants : valeur technologique et utilisation. Ed. APRIA, n° 18, Paris.
- GUIRAUD J. P. (2003).** Microbiologie Alimentaire. Ed. DUNOD. Paris.
- GUNNERUD U., HOLST J., ÖSTMAN E. and BJORCK I. (2012).** The glycemic, insulinemic and plasma amino acid responses to equi-carbohydrate milk meals, a pilot- study of bovine and human milk. *Nutrition Journal.*, 11(83), 1 – 9.
- HABIBI-NAJAFI M. B. and ALAEI Z. (2006).** Rheological Properties of Date Syrup/Sesame Paste Blend. *World Journal of Dairy & Food Sciences.*, 1 (1), 01-05.
- HANACHI S. et KHITRI D. (1998).** Inventaire variétal de la palmeraie Algérienne : Actes du symposium sur la datte, Biskra : 44-190.
- HANOVER L. M. and WHITE J. S. (1993).** Manufacturing, composition, and applications of fructose. *Am. J. Clin. Nutr.*, 58 (5), 724-732.
- HELLA J. (2005).** Consuming Fructose-sweetened Beverages Increases Body Adiposity in Mice. *Obes. Res.*, 13, 1146-1156.
- HENK J., ZWIR E. et RIK L. (2003).** Caroténoides et flavonoides contre le stress oxydatif. *Arome. Ingrédients. Additifs.*, 44, 42 – 45.
- HLEBOWICZ J., JONSSON J. M., LINDSTEDT S., BJORGELL O., DARWICH G. and ALMER L. O. (2009).** Effect of commercial rye whole-meal bread on postprandial blood glucose and gastric emptying in healthy subjects. *Nutrition Journal.*, 8, 26 1 – 5.
- HLEBOWICZ J., LINDSTEDT S., HOGLUND P., BJORGELL O., ALMER L. O. and DARWICHE G. (2007).** The botanical integrity of wheat products influences the gastric distension and satiety in healthy subjects. *Nutr J.*, 7, 2 12.
- HUDSON B. J. F. and KARIS I. G. (1974).** The lipids of the alga spirulina. *Journal. Sci. Food. Agric.*, 25, 759 – 763.
- HUSSEIN F. and HUSSEIN M.A. (1983).** Effect of Irrigation on Growth, Yield and Fruit Quality of Dry dates Grown at Asswan. Actes du Colloque "The First Symposium on The Date Palm", King Faisal University, Al-Hassa Kingdom of Saudi Arabia : 168- 173.
- IBRAHIM M. A. et KHALIL H. N. M. (1997).** Le palmier dattier protection et production. Ed Iskandaria : 432 – 627.
- IQBAL M., MUNIR I. M. et NIAMATULLAH M. (2011).** Physico-Chemical characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera L.*) cultivars at various maturity stages under environmental conditions of Dera Ismail Khan. *J. Agric. Res.*, 49(2), 249-261.
- JACCOT B. et CAMPILLO B. (2003).** Nutrition humaine. Ed MASSON, Paris.

- JAMSHIDI M., ALEMZADEH I. and VOSSOUGHIE M. (2008).** Optimization of HFDS production from date syrup. *Archive of SID IJE Transactions. Applications.*, 21(2), 127 - 134.
- JAOUEN P., LEPINE B. and ROSSIGNOL N. (1999).** Clarification and concentration with membrane technology of phycocyanin solution extracted from *Spirulina platensis*. *Biotechnology Technique.*, 13, 877 – 881.
- JENKINS A. L., KACINIK V., LYON M. and WOLEVER T. M. S (2010).** Effect of adding the novel fiber, PGX®, to commonly consumed foods on glycemic response, glycemic index and GRIP: a simple and effective strategy for reducing post prandial blood glucose levels - a randomized, controlled trial. *Nutrition Journal.*, 9, 50 - 58.
- JENKINS D. J., WOLEVER T. M., COLLIER G. R., OCANA A., RAO A. V., BUCKLEY G., LAM Y., MAYER A. and THOMPSON L. U. (1987),** Metabolic effects of a low-glycemic- index diet. *American Journal of Clinical Nutrition.*, 46 (6), 968-975.
- JENKINS D. J. A., WOLEVER T. M. S., TAYLOR R. H., BARKER H. M., FIELDEN H. and BALDWIN J. M. (1981).** Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 362-366.
- JENSEN J. H., KARHU T., MORTENSEN L. S., PEDERSEN S. B., HERZIG K. and HERMANSEN K. (2011).** Differential effects of dietary protein sources on postprandial low-grade inflammation after a single high fat meal in obese non-diabetic subjects. *Nutrition Journal.*, 10(115), 2 – 8.
- JENSEN J. H., KARHU T., MORTENSEN L. S., PEDERSEN S. B., HERZIG K. H. and HERMANSEN K. (2011).** Differential effects of dietary protein sources on postprandial low-grade inflammation after a single high fat meal in obese non-diabetic subjects. *Nutrition Journal*, 10:1 - 5
- JUNTUNEN K. S., NISKANEN L. K., LIUKKONEN K. H., POUTANEN K. S., HOLST J. J. and MYKKANEN H. M. (2002).** Postprandial glucose, insulin, and incretin responses to grain products in healthy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 75, 254-262.
- KASPAR B. et ULRICH K. (2006).** L'augmentation de la consommation de fructose responsable du syndrome métabolique. *Forum. Med. Suisse.*, 6, 187–189.
- KHAN Z., BHADOURIA P. and BISAN P. S. (2005).** Current pharmaceutical biotechnology. *Nutritional and Therapeutic Potential of Spirulina.*, 6, 373-379.
- KHATCHADOURIAN H. A., SAWAYA W. N., KHALIL J. K., SAFI W. M., and MASHADI A. A. (1983).** Utilization of dates, (*Phoenix dactylifera L*) grown in Kingdom of Saudi Arabia, in various date products. The first symposium on the date palm. King Faisal University, Al-Hassa kingdom of Saudi Arabia : 504-518.
- KOLETZKO B., ABIODUM P. O., LARYEA M. D. and BREMER H. J. (1986).** Fatty acid composition of plasma lipids in Nigerian children with protein-energy malnutrition. *Eur. J. Pediatr.*, 145, 109-115.

- KULKAMI S. G., VIJAYANAND P., AKSHA M., REENA P. and RAMANA K.V.R. (2008).** Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*). *L.W.T.*, 41, 278-283. Available online at: [www. Sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- KUMARI D. B., BABITHA S. K., JAFFAR M. G., PRASAD IBRAHIM M. D. and KHAN M.D. (2011).** Potential health benefits of spirulina platensis. *Pharmanesr - An International Journal of Advances In Pharmaceutical Sciences.*, 2, 5-6.
- LABUZA T. P. et LABUZA P. S. (2004).** Influence of temperature and relative humidity on the physical states of cotton candy. *J. Food. Proc. Pres.*, 28, 274-287.
- LACOMBE A. and GANJI. V. (2010).** Influence of two breakfast meals differing in glycemic load on satiety, hunger, and energy intake in preschool children. *Nutrition Journal* 9(53), 2 – 6.
- LANDBO A. K., KAACK K. and MEYER A. S. (2007).** Statically designed two step response surface optimization of enzymatic prepress treatment to increase juice yield and lower turbidity of elderberry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.*, 8, 135-142.
- LAVALLEE-COTE et DUBOST-BELAIR. (2000).** Dans : **CHAGNON DECELLES D., DIAGNAULT GELINAS M., LAVALLEE-COTE L. et COLL.** Manuel de Nutrition Chimique, 3^{ème} Ed Montréal, Ordre professionnel des diététistes du Québec.
- LIANG A. C. and CHEN L. I. H., (2001).** Fast-dissolving intraoral drug delivery systems : a review. *Expert. Opin. Ther. patents.*, 11, 981 – 986.
- LIEW-ABDULLAH A. G., SULAIMAN N. M., AROUA M.K. and MEGAR MOHAMED NOOR M. J. (2007).** Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. *Journal of Food Engineering.*, 81, 65-71.
- LOWRY O. H., ROSEBROUGH N. J., FARR A. L. and RANDALL R. J. (1951).** Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biochem.*, 193, 265-275.
- MAATALLAH S. (1997).** Contribution à la valorisation de la datte Algérienne. Thèse d'Ingénieur, INA, El Harrach.
- MADDALY R., LATA S., AZHARUDDIN S. and PAUL F. D. (2010).** The beneficial effects of spirulina focusing on its immunomodulatory and antioxidant properties. *Nutrition and Dietary Supplements.*, 2, 73–83.
- MADIGAN M. and MARTINKO J. (2007).** Biologie des microorganismes. Edition Pearson Education, 11^{ème} édition, Paris : 145-146.
- MANSOURI A., EMBAREK G., KOKKALO E. and KEFALAS P. (2005).** Phenolic profile and antioxidant activity of the Algeria ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Journal. Food. Chemistry.*, 89, 411 – 420.

- MARK F. (2007).** Clinical potential of *Spirulina*: A source of phycocyanobilin. *Journal of Medicinal Food.*, 10(4), 566-570.
- MATALLAH M. M. A. (2004).** Contribution à l'étude de la conservation des dattes variétés Deglet Nour : Isotherme d'adsorption et de désorption. Mémoire d'Ingénieur Agronomie, INA, El Harrah.
- MAZOYER M. (2002).** Larousse agricole. Le monde agricole au XXI^{ème} siècle. Ed Mathilde. Majorel.
- MEKKI M. S., AL-TAI W. F. and HAMOUDI Z. S. (1983).** Industrialization of Dates and Development of New Products Comming of Date Pulp and Khalal Dates. Actes du Colloque "The First Symposium on The Date Palm", King Faisal University, Al-Hassa Kingdom of Saudi Arabia : 520-532.
- MELGI M. A. and SOURIAL G. F. (1982).** Fruit quality and general evaluation of some cultivars grown under conditions of barrage region. Ed First symposium on the date palm, Saudi Arabia, 23 – 25 March : 212 – 220.
- MESSAID H. (2008).** Optimisation du processus d'émersion-réhydratation du système dattes sèches-jus d'orange. Mémoire de magister. Université M'hamed bouguera boumerdes
- MESSAR E. M. (1996).** Le secteur phoenicicole algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010. Option Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens : n° 28.
- MILLER C. J., DUNN E. V. and HASHIM I. B. (2011).** Glycemic index of 3 varieties of dates. *Saudi Med. J.*, 23(5), 536-538.
- MILLER C. J., DUNN E. V and HASHIM I. B. (2003).** The glycaemic index of dates and date/ yoghurt mixed meals. Are dates 'the candy that grows on trees. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57, 427-430.
- MIMOUNI Y et SIBOUKEUR O. E. K. (2011).** Etude des propriétés nutritives et diététiques des sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec les sirops a haute teneur en fructose (isoglucoses), issues de l'industrie de l'amidon. *Ann. Sci. Tech.*, 3(1),1-11.
- MIMOUNI Y. (2009).** Mise au point d'une technique d'extraction de sirops de dattes ; comparaison avec les sirops à haute teneur en fructose (HFCS) issus de l'amidonnerie. Mémoire de Magister.
- MOHAMMED S., SHABANA H.R. and MAWLOD E. A. (1983).** Evaluation and identification of Iraqi date cultivars. Fruits characteristics of fifty cultivars. *Journal. Date. Palm.*, 2, 27 – 55.
- MOKHBER M. J., ALEMZADEH I. and VOSSOUGH M. (2008).** OPTIMIZATION OF HFDS PRODUCTION FROM DATE SYRUP. *Archive of SID.*, 21 (2), 127 – 134.
- MOOSAVI-NASAB M., YOUSEFI A. R., ASKARI H. and BAKHTIYARI M. (2010).** Fermentative Production and Characterization of Carboxymethyl Bacterial Cellulose

Using Date Syrup. World Academy of Science, *Engineering and Technology.*, 44, 1477-1481.

MORENGA L. A. T., LEVERS M. T., WILLANS S. M., BROWN R. C. and MANN J. (2011). Comparison of high protein and high fiber weight-loss diets in women with risk factors for the metabolic syndrome: a randomized trial. *Nutrition Journal.*, 10(40), 1 -9.

MULTON J. L et LEPATRE F. (1984). Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries Agroalimentaires. Ed APRIA, Paris : 53 – 276.

MULTON J. L. (1992). Le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides dans les I.A.A. Ed. Lavoisier, Paris.

MULTON J. L. (1991). Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaire. Vol IV. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, 121- 137.

MUNIER P. (1973). Le palmier dattier, techniques agricoles et productions tropicales. Ed maison neuve et la rosse, Paris.

MUNSTEDT K. (2009). Effect of honey on serum cholesterol and lipid values. *J. Med. Food*, 12(3), 624-632.

MUSTAFA A. I., HAMAD A. M. and AL-KAHTANI M. S. (1983). Date variertiers for jam production. Actes du Colloque "The First Symposium on The Date Palm", King Faisal University, Al-Hassa Kingdom of Saudi Arabia : 496-502.

NAZARI S. H. (2011). Sonicated date syrup media preparation for microbial culture. *African Journal of Biotechnology.*, 10(3), 424 – 432. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>

NORMAND S., KHALFALLAH Y., LOUCHE-PELISSIER C., PACHIAUDI C., ANTOINE J. M., BLANC S., DESAGE M., RIOU J. P. and LAVILLE M. (2001). Influence of dietary fat on postprandial glucose metabolism (exogenous and endogenous) using intrinsically (13) C-enriched durum wheat. *British Journal of Nutrition.*, 86 (1), 3-1.

OUELD EL HADJ M. D., SEBIHI, A. H. and SIBOUKEUR O. (2001). Qualité hygénique et caractéristique physic-chimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla. *Revue Énergies. Renouvelables. Production et Valorisation. Biomasse.*, 87 – 92.

PATEL A., MISHRA S., PAWAR R. and GHOSH P. K. (2006). Antioxydant potantiel of phycocyanin isolated from cyanobacterial species. *Indian Journal. Biochemistry Biophysics.*, 43, 25 – 31.

PROST J. P. (1977). Apiculture. Ed. Baillier, Paris : 247 -252.

QUESHI A. S., BHUTTO M. A., CHISTI Y., KHUSHK I., DAHOT M. U. and BANO S. (2012). Production of pectinase by *Bacillus subtilis* EFRL 01 in a date syrup medium. *African Journal of Biotechnology.*, 11(62), 12563-12570.

- RADULIAN, G., RUSU E., A. DRAGOMIR and POSEA. M. (2009).** Metabolic effects of low glycaemic index diets. *Nutr. J.* 8:1475-2891.
- RANDERATH K. (1971).** Chromatographie sur couches minces. Ed. Guthier-Villars, Paris : 238-242.
- RAVI M., LATA S. D., AZHARUDDIN S. and PAUL S. F. D. (2010).** The beneficial effects of spirulina focusing on its immunomodulatory and antioxidant properties. *Nutrition and Dietary Supplements.*, 2, 73–83.
- RAYSSIGUIER Y. (2006).** High fructose consumption combined with low dietary magnesium intake may increase the incidence of the metabolic syndrome by inducing inflammation. *Magnes. Res.*, 19(4), 237-43.
- REJSEK F. (2002).** Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Ed. Dunod, Paris : 71 – 73.
- RICHARD W. H. and SHASTRY A. V. (1999).** Sugar crystallization in food products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 30, 49-112.
- ROSALEN P. L BOWEN W. H. and PEARSON S. K. (1996).** Effect of Copper Co-Crystallized with Sugar on Caries Development in Desalivated Rats. *J. Nutr.*, 30, 367-372.
- ROSEN A. H. L., SILVA L O . B, U., ANDERSSON K., HOLM C., ÖSTMAN E. M. and BJORCK I. M. E. (2009).** Endosperm and whole grain rye breads are characterized by low post-prandial insulin response and a beneficial blood glucose profile. *Nutrition Journal.*, 8 (42), 1-11.
- SARAFIS V. (1998).** Chloroplasts: a structural approach. *J. Plant. Physiol.*, 152, 248-264.
- SAUTIER C. and TREMOLIERES J. (1975).** Food value of the Spiruline algae to man. *Ann. Nutr. Aliment.*, 29, 517-34.
- SAWAYA W. N., SAFI W.M., AL-SHATA. And EL-MOHAMMAD H. (1983).** Fruit growth and composition of khadari sillaj and sifri date cultivars grown in Saudi Arabia. Actes du Colloque "The First Symposium on The Date Palm", King Faisal University, Al-Hassa Kingdom of Saudi Arabia : 202-210.
- SCHAEFER E. J., GLEASON J. A. and DANSINGER M. L. (2009).** Dietary fructose and glucose differentially affect lipid and glucose homeostasis. *J Nutr.*, 139 (6), 1257-1262.
- SHARMA V. and DUNKWAL V. (.2012).** Development of Spirulina Based “Biscuits”: A Potential Method of Value Addition. *Ethno Med.*, 6 (1), 31-34.
- SHIZHONG L., XUEMING L., FENG C. and ZIJIAN C. (2004).** Current microalgal health food R et D activities in china. *Hydrobiologia.*, 512, 45 – 48.
- SIBOUKEUR O. (1995).** Valorisation des dattes communes par des procédés technologiques et biotechnologiques. VI^{èmes} journées de Nutrition. Fondation de la recherche Médicale

(FOREM). Ouargla. (PRIX D'ENCOURAGEMENT POUR MEILLEUR TRAVAIL SCIENTIFIQUE).

SIBOUKEUR O. (1997). Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Thèse Magister en Sciences Alimentaires, INA.

SIBOUKEUR O. et LAKHDARI K. (1997). Utilisation des farines de dattes communes sèches en biscuiterie. VIII^{èmes} journées de nutrition. Fondation de la Recherche ENSA (FOREM)-ENSA-CRIALE 06/ 07 mai 1997 Tiaret.

SIBOUKEUR O. et LAKHDARI K. (1998). Utilisation des farines de dattes en biscuiterie. Premier Symposium Arabe sur la Recherche et Développement du palmier dattier. 28 février 1998. ACSAD/INRA de Marrach.

SIDHU J. S., AL-SAQER J. M., AL-HOOTI S.N. and AL-OTHMAN A. (2003). Quality of pan bread made by replacing sucrose with date syrup produced by using pectinase / cellulose enzymes. *Plant Foods Human Nutr.*, 58, 1-8.

SIMPORE J., KABORE F., ZONGO F., DANSOU D., BERE A., PIGNATELLI S., BIONDI D. M., RUBERTO G. and MUSUMECI S. (2006). Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spiruline and Misola. *Nutrition Journal.*, 5 (3), 1 – 7.

SNOW P. and O'DEA K. (1981). Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 2721-2727.

SPOLAORE P., JOANNIS-CASSAN C., DURAN E. and ISAMBERT A. (2006). Commercial Applications of Microalgae. *Journal Bioscience Bioengineering.*, 101, 87 – 96.

STANHOPE K. and HAVEL P. J. (2008). Endocrine and metabolic effects of consuming beverages sweetened with fructose, glucose, sucrose, or high-fructose corn syrup. *Am. J. Clin. Nutr. Dec.*, 88(6), 1733-1737.

SUI Y., DJURAS G. and KOSTNER. G. M. (2012). Fructose Malabsorption Influences Chronic and Recurrent Infectious Diseases, Dyspepsia and Heartburn. *Open Gastroenterology Journal.*, 6, 1-7.

TANG G. and SUTER P. M. (2011). Vitamin A, Nutrition, and Health Values of Algae: Spirulina, Chlorella, and Dunaliella. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences.*, 1, 111-118.

TEFF K. L. (2009). Endocrine and metabolic effects of consuming fructose- and glucose-sweetened beverages with meals in obese men and women: influence of insulin resistance on plasma triglyceride responses. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 94 (5),1562-1579.

TEHSEEN Y., IRAM A., SALIM-UR-REHMAN L., SAKHAWAR A. and IMRAN P. (2013). Shelf life assessment of muffins prepared by date syrup and wheat bran. *Journal of Public Health and Biological Sciences.*, 2(1), 156-163.

- TELLI A., MAHBOUB N., SIBOUKEUR O., MOULTI-MATI F. (2009).** Evolution de la teneur en polyphénols, en flavonoides et activité antioxydante des dates (*Phoenix dactylifera l Var Ghars*) au cours des différents stades de maturité. Séminaire International sur la protection des Ecosystèmes Sahariens “Eco-sys09” Ouargla, les 13, 14 et 15 Décembre 2009.
- TELLI A., MAHBOUB N., SIBOUKEUR O., MOULTI-MATI F. (2010).** Evolution of dry Matter and Polyphenols contents and Antioxidant Activity of Date Palm Fruits (Ghars Variety) at different Stages of Ripening. PALMS 2010 Biology of the Palm Family. International Symposium. 5-6 May 2010. Le Corum, Montpellier, France.
- TOUIMER M. and KAILALI H. (1985).** Travaux pratiques de Pharma 309. Éd. Office des Publications Universitaires, Alger: 35-37.
- TOUTAIN G. (1972).** Eléments d’agronomie saharienne : de la recherche au développement. Ed. Jouve Paris.
- TURNER N. C. (1986).** Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13, 175-189.
- UDANI J. K., SINGH B., BARRETT M. L. and PREUSS H. G. (2009).** Lowering the glycemic index of white bread using a white bean extract. *Nutrition Journal.*, 8 (52), 1 -5.
- VAYALIL P. K. (2002).** Antioxidant and antimutagenic properties of aqueous extract of date fruit (*Phoenix dactylifera L. arecaceae*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, 50, 610-617.
- VINSON J. A., ZUBIK L., BASE P., SAMMAN N. and PROCH J. (2005).** Dried fruits: Excellent in-vitro and in-vivo antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition.*, 24, 44-50.
- WALSBY A. E. (1973).** Gas Vacuoles. Dans The Biology of Blue-Green Algae, N.G. Carr & B. A. Whitton, Eds. Botanical Monographs vol. 9 Blackwell Scientific publication, Oxford.
- WEIL J.H., BONNET J., BOULANGER Y., CHAMBON P., DUBERTRET G., FLORENTZ C., KEDIGER C., LAZDUNSK M., MONTREUIL J., PATTE J.C., REBEL G., ROSSIGNOL J.M., SHECHTER E. et WRIGHT M. (1997).** Biochimie générale. 9^{ème} édition DUNOD : 218 – 228.
- WHITE J. S. (1992).** Fructose syrup: production, properties and applications, in FW Schenck & RE Hebeda. Eds, Starch Hydrolysis Products – Worldwide Technology, Production, and Applications. VCH Publishers, Inc : 177-200.
- WIERNSPERGER N. et RAPIN J. (2010).** Trace elements in glucometabolic disorders: an update. *Diabetol. Metab. Syndr.*, 19(2), 62 -70.
- XU C. W. (1993).** An instant algal noodle and its production method. *Chinese Patent.*, 10, 77-85.

XU F., WANG Z., XU S. and SUN D.W. (2001). Cryostability of frozen concentrated orange juices produced by enzymatic process. *J. Food Engineering.*, 50, 217-222.

YAMAGUCHI K. (1997). Recent advances in microalgal bio-science in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites. *Journal, Appl. Phycol.* 8(6) 487 – 502.

ZENG Z.. and LIANG M. S. (1995). Production of spirulina platensis drink, (Chinise). *Food. Sci.* 16(7), 39 – 418.

ZOHARY D., HOPF M. and WEISS E. (2012). Domestication of plants in the Old World. 3^{ème} édition. New York, Oxford University Press.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Dosage des chlorures

Réactif

Solution standard de nitrate d'argent

Peser 4,79g d' AgNO_3 et dissoudre dans 1litre d'eau distillée. Stocker cette solution dans un flacon en verre brun.

Solution standard de chlorures

Peser 1,648g de NaCl (séché 2 heures à 105°C), l'introduire dans une fiole jaugée de 1000ml avec environ 500ml d'eau distillée. Agiter jusqu'à dissolution puis compléter au trait de jauge. Bien mélanger.

Solution de chromate de potassium

Peser 10g de K_2CrO_4 , l'introduire dans une fiole jaugée de 100 ml avec environ 50ml d'eau distillée. Agiter jusqu'à dissolution puis compléter au trait de jauge. Bien mélanger.

Dosage

Préparer trois erlenmeyers de 250ml marquer échantillon, blanc, titre. Introduire dans chacun :

Blanc	Titre	Echantillon
100ml d'eau distillée. 1ml de K_2CrO_4 .	10ml de NaCl. 90ml d'eau distillée 1ml de K_2CrO_4	25ml de l'échantillon compléter à 100ml 1ml de K_2CrO_4

Titrer avec AgNO_3 jusqu'au virage rouge brique. La teneur en Cl est donnée par la formule suivante :

$$\text{Concentration en Cl (mg/l)} = \frac{V_s - V_b}{V_a} \times C \times f \times D \times T$$

Va : Volume de l'échantillon en ml

Vs : Volume d'AgNO₃ utilisé pour titrage de l'échantillon

Vb : Volume d'AgNO₃ utilisé pour titrage du blanc

C : [C] réel de la solution d'AgNO₃ en mol (l × T)

D : dilution

f : 35453 mol/l

$$T = \frac{\text{Volume réel (NaCl)}}{\text{Volume de lecture d'AgNO}_3}$$

Annexe 02 : Chromatographie sur couche mince des sucres (CCM)

Dimensions des plaques chromatographiques : 10x20 cm.

1. L'identification du glucose, fructose et du saccharose

Le système de solvants se compose d'acide acétique (94ml) + eau distillée (6ml) (a).
On mélange 44ml de chloroforme avec 56ml de solution (a) (RANDERATH, 1971).

Les sucres se séparent par migration différentielle ; chacun d'eux est soumis à une force de fixation, l'affinité pour la phase stationnaire, et une force d'entraînement par la phase mobile.

Après migration, les spots sont révélés par une réaction colorée, basée sur les réactions furfuraliques des sucres. Le révélateur utilisé est le Nigram. Ce dernier se compose de :

Révélateur NIGRAM

* 4g de diphénylamine + 100ml d'acétone

* 4ml d'aniline + 100ml d'acétone et 20ml d'acide orthophosphorique à 85%

L'identification est rendue possible grâce à des témoins, solutions de sucres connus déposés dans les mêmes conditions que le mélange à analyser. Chaque sucre est caractérisé par son R,

rapport de la distance de migration du spot à la distance de migration du front du solvant. (AUGIDIE et al, 1984).

Mode opératoire

- Réactiver les plaques 30 minutes à 100°C ;
- Tracer, très légèrement, une ligne de dépôt à 2 cm du bord inférieur de la chromatoplaque, au crayon graphite ;
- Marquer, très légèrement, les emplacements de dépôts, régulièrement espacés de 1 cm (saccharose, glucose, fructose, ech1, ech2, ech3.....), laisser 2 cm à chaque bord ;
- Tapisser les parois de la cuve de papier filtre (qui trempe dans le solvant);
- Attendre la saturation de la cuve (une heure);
- Effectuer le dépôt en trois fois en séchant entre chaque opération (le dépôt ne doit pas excéder un diamètre de 4 mm);
- Mettre en place la plaque dans la cuve ;
- Laisser le développement se poursuivre jusqu'au moment où le front du solvant atteint le bord supérieur de la plaque ;
- Sortir le chromatogramme, le placer horizontalement, marquer le front du solvant ;
- Sécher à l'air, terminer à l'air chaud (dans une étuve) ;
- Pulvériser le révélateur sur le chromatogramme ;
- Chauffer 15 minutes à 100°C ;
- Calculer les RF ;
- Identifier les sucres par les RF et les témoins.

CCM bidimensionnelle

L'échantillon à analyser est porté à trois ou quatre cm d'un coin de la plaque carrée, puis on procède à la première élution. La plaque est ensuite séchée puis retournée de 90°. Une deuxième élution est alors effectuée avec le même système de solvant de composition différente.

Annexe 03 : Dosage des sucres totaux, sucres réducteurs, saccharose (Méthode de BERTRAND) (AUDIGIER *et al.*, 1984)

Sucres réducteurs

Dans un erlenmyer de 300 ml prélever : 20ml de liqueur A, 20ml de liqueur B, 20ml du filtrat. Porter à l'ébullition après 3min d'ébullition exactement refroidis immédiatement sous un courant d'eau sans agiter. L'oxyde cuivreux se dépose. Filtrer la liqueur par le filtre d'amiante on activant la filtration par l'aspiration de la trompe à eau. Laver à trois reprises l'oxyde cuivreux avec 20ml d'eau bouillante froide. Rejeter le filtrat contenu dans la fiole à vide et la rincer à l'eau distillée. Remettre en place le filtre sur la fiole. Dissoudre l'oxyde cuivreux avec 30ml de liqueur ferrique C. Collecter la liqueur ferrique partiellement réduite dans la fiole à vide en s'aidant d'une aspiration modéré, rincer le filtrat à cinq reprise avec 20ml d'eau. Titrer le filtrat contenant la solution ferrique partiellement réduite par la solution N/10 de KMnO_4 . Le virage est obtenu quand la couleur passe du vert franc au rose persistant. La quantité de sucre contenu dans la prise d'essai est donnée par le tableau de correspondance entre le volume de KMnO_4 et la masse de sucre.

Sucres totaux

Dans une fiole de 100ml introduire : 10ml du filtrat, 10ml d' HCl (83g/l), Porter au bain marie 30min à 70°C . Après refroidissement ajouter quelques gouttes de phénophtaléine (1%). Neutraliser avec NaOH aqueuse (10N). Compléter à 100ml avec eau distillée. Agiter et prélever : 20ml de liqueur A, 20ml de liqueur B, 20ml du filtrat. Faire la même chose que pour les sucres réducteurs. Avant inversion :

$$\text{Sucres réducteurs g/Kg de produit} = \frac{X \times 200 \times 100}{E \times 20 \times 100}$$

Après inversion :

$$\text{Sucres totaux (invertis) g/Kg de produit} = \frac{X \times 200 \times 100 \times 1000}{E \times 10 \times 20 \times 1000}$$

X : la valeur lue sur le tableau du sucre correspondante à la valeur de KMnO_4 de titrage.

E : la prise d'essai.

Annexe 04 : Dosage des pectines

La teneur en pectines P est exprimée en pourcentage de matière sèche par la formule suivante :

$$\text{Pectine \%} = \frac{A \times 200 \times 0,9235 \times 100}{50 \times a}$$

0,9235: Coefficient de transformation du pectate de calcium en pectine

A : Poids du précipité en g

a : poids de la prise d'essai en g

200 : Volume du filtrat

50 : Volume du filtrat pris pour la précipitation en ml.

Annexe 05 : Fiche des informations

Fiche d'informations

Faculté :

Département :

Année universitaire :

Sondage : Volontaire n° :

* Nom et prénom :

* Age :

* Taille :

* Poids :

* Pression artérielle :

* Sexe :

* Cas : Normal Malade

Tableau : Evolution de la glycémie (glucose)

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Référence							
Glucose							
Moyenne							

Tableau : Evolution de la glycémie (aliment test)

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Référence							
Glucose							
Moyenne							

Annexe 06 : Aliment de référence et aliment test

A



B

Aliment de référence : A. Solution du glucose à 30% B. glucose en poudre (50 g)



C



D

C : Aliment test (dattes) ; D : Aliment test (Sirop de dattes)

Annexe 07 : Evolution de la glycémie après ingestion des dattes pour chaque volontaire**1. Variété Ghars 01****1^{er} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 1^{er} volontaire**

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.05	1.75	2.07	1.76	1.85	1.22	1.26
Ghars (g/l)	0.98	1.22	1.37	1.27	1.19	1.12	1.20

2^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 2^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.02	1.46	1.56	1.46	1.26	1.14	1.10
Ghars (g/l)	1.08	1.04	1.31	1.20	1.16	1.20	1.03

3^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 3^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.38	1.77	1.78	1.80	1.51	1.22
Ghars (g/l)	1	1.12	1.18	1.38	1.24	1.24	1.12

4^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 4^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.87	1.78	2.25	2.13	1.53	1.23	0.78
Ghars (g/l)	1	1.46	1.73	1.25	1.03	1.07	1.04

5^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 5^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.96	1.27	1.49	1.74	1.91	1.67	1.66
Ghars (g/l)	0.95	1.43	1.39	1.35	1.25	1.31	1.12

6^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 6^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.93	1.25	1.63	1.64	1.40	1.02	0.86
Ghars (g/l)	0.91	1.19	1.33	1.10	0.97	0.94	0.90

7^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 7^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.87	1.64	1.98	1.57	1.47	1.28	1
Ghars (g/l)	0.90	1.28	1.31	1.12	1.26	1.10	1.09

2. Variété Ghars 02

8^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 8^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.95	1.48	1.52	1.28	1.14	1.15	1.33
Ghars (g/l)	1.16	1.14	1.20	1.16	1.10	1.08	1.3

9^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 9^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.67	1.73	1.57	1.26	1.37	1.35
Ghars (g/l)	1.10	1.45	1.42	1.26	1.16	1.04	1.01

10^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 10^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.33	1.54	1.83	1.72	1.10	1.18
Ghars (g/l)	1.07	1.48	1.19	1.11	1.14	1.10	1.02

11^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 11^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1	1.33	1.28	1.19	1.11	1.09	1.23
Ghars (g/l)	1.13	1.22	1.15	1.13	1.14	1.18	1.03

12^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 12^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.15	1.30	1.44	1.34	1.15	1.30	1.27
Ghars (g/l)	1.05	1.13	1.09	0.98	1.04	1	1.02

13^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 13^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.95	1.23	1.30	1.04	1.12	1.13	0.96
Ghars (g/l)	0.93	0.94	0.96	1.12	1.05	1.05	0.92

14^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 14^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.09	1.40	1.31	1.26	1.11	1	1.13
Ghars (g/l)	1.17	1.32	1.31	1.26	1.19	1.18	1.13

3. Variété Deglet Nour

15^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 15^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.05	1.75	2.07	1.79	1.74	1.22	1.26
Deglet Nour (g/l)	0.87	0.97	1.06	1.39	1.18	1	0.99

16^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 16^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.02	1.46	1.56	1.46	1.26	1.14	1
Deglet Nour (g/l)	1	1.16	1.32	1.20	1.14	1.08	1.03

17^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 17^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.38	1.77	1.83	1.75	1.51	1.22
Deglet Nour (g/l)	1.14	1.15	1.40	1.63	1.32	1.04	1.08

18^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 18^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.93	1.25	1.63	1.64	1.40	1.02	0.86
Deglet Nour (g/l)	0.89	0.96	1.09	1.08	1.04	1	0.93

19^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 19^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.87	1.64	1.98	1.57	1.47	1.28	1
Deglet Nour (g/l)	0.98	1.33	1.39	1.15	1.13	1.04	0.97

20^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 20^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.96	1.27	1.49	1.74	1.91	1.67	1.25
Deglet Nour (g/l)	1.03	1.21	1.46	1.41	1.39	1.25	1.16

21^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 21^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.87	1.78	2.25	2.13	1.53	1.23	0.78
Deglet Nour (g/l)	0.81	1.13	1.41	1.55	1.39	0.95	0.92

4. Variété Degla Beida

22^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 22^{7mer} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.13	1.32	1.53	1.94	1.76	2.29	1.50
Degla Beida (g/l)	1.07	1.34	1.39	1.31	1.24	1.10	1.32

23^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 23^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1	2.03	2.01	1.71	1.50	1.39	1.52
Degla Beida (g/l)	1.03	1.15	1.36	1.08	1.01	1	1.09

24^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 24^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.02	1.97	2.26	2.88	2.38	1.46	1.02
Degla Beida (g/l)	1	1.09	1.35	1.33	1.20	1.05	1.45

25^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 25^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.08	1.50	1.44	1.35	1.26	1.33	1.21
Degla Beida (g/l)	0.93	1.17	1.31	1.24	1.06	1.04	0.95

26^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 26^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.87	1.78	2.25	1.13	1.53	1.23	0.78
Degla Beida (g/l)	1.14	1.41	1.56	1.77	1.38	1.21	1.23

27^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 27^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.93	1.25	1.63	1.64	1.41	1.02	0.87
Degla Beida (g/l)	0.94	1.19	1.27	1.24	1.11	1.09	1.10

28^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 28^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.38	1.77	1.78	1.80	1.51	1.22
Degla Beida (g/l)	1.11	1.25	1.34	1.42	1.22	1.04	1.13

5. Variété Addala

29^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 29^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.90	1.42	1.74	1.67	1.38	1.32	1.20
Addala (g/l)	0.93	1.12	1.16	1.16	1.18	1.07	0.98

30^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 30^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1	2.03	2.01	1.71	1.50	1.39	1.52
Addala (g/l)	1.03	1.15	1.36	1.08	1.01	1	1.09

31^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 31^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.14	1.67	1.73	1.57	1.26	1.37	1.50
Addala (g/l)	1.02	1.27	1.38	1.13	1.13	1.02	1.12

32^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 32^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.28	1.54	1.83	1.72	1.10	1.27
Addala (g/l)	0.96	1.32	1.38	0.99	1.01	1	1

33^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 33^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	0.97	1.27	1.75	1.67	1.38	1.43	1.56
Addala (g/l)	0.98	1.19	1.20	1.20	1.15	1.04	1.02

34^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 34^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.04	1.27	1.58	1.50	1.35	1.16	1.02
Addala (g/l)	0.97	1	1.03	1.16	1.05	1.03	1.06

35^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 35^{ème} volontaire

Temps (min)	0	15	30	45	60	90	120
Glucose (g/l)	1.15	1.30	1.44	1.34	1.15	1.30	1.27
Addala (g/l)	0.95	1.13	1.27	1.16	1.01	1.08	1.16

Annexe 08: Caractéristiques cliniques des sujets

N° Volontaires	Age (ans)	Poids	Taille (m)	IMC (kg/m ²)	Glycémie à jeun
1	23	74	1,90	20,5	0,89
2	23	60	1,60	23,43	0,94
3	22	48	1,64	17,91	0,99
4	24	49	1,60	19,14	0,95
5	23	62	1,67	22,30	1,04
6	25	64	1,68	22,70	0,91
Moyenne $\pm$ écart type	24 $\pm$ 1.03	49 $\pm$ 9.79	1.6 $\pm$ 0.13	19.14 $\pm$ 2.90	0.99 $\pm$ 0.03

Annexe 09 : Evolution de la glycémie chez les six volontaires après de l'aliment de référence et aliments tests (SBDG, SDGC_{1%} et SDGC_{2%})**36^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 36^{ème} volontaire**

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,90	3,07	1,61	2,38	1,85	2,52	1,26
SBDG	0,92	1,14	0,99	1,30	0,94	0,85	0,84
SDGC 1%	0,89	1,06	0,87	1,00	0,85	0,99	0,80
SDGC 2%	0,87	0,98	1,04	0,95	0,94	0,97	1,04

37^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 37^{ème} volontaire

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,96	3,25	1,49	1,54	1,30	1,27	1,34
SBDG	0,96	2,39	1,32	1,33	0,96	0,95	1,05
SDGC 1%	0,92	1,00	1,07	1,16	0,90	1,00	0,97
SDGC 2%	0,95	1,22	1,02	0,95	1,01	0,91	0,99

38^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 38^{ème} volontaire

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,94	1,92	1,87	2,93	1,91	1,43	1,81
SBDG	0,97	2,60	1,07	0,92	1,06	1,09	1,00
SDGC 1%	0,99	1,16	1,00	1,08	1,38	0,87	0,92
SDGC 2%	1,08	1,09	1,08	0,92	0,87	0,97	0,97

39^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 39^{ème} volontaire

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,96	1,54	1,76	1,46	1,12	1,29	1,32
SBDG	0,93	1,12	1,68	0,92	1,06	0,96	0,85
SDGC 1%	0,95	1,15	1,35	1,02	0,99	0,98	0,97
SDGC 2%	0,98	1,20	0,97	1,03	1,12	0,99	0,96

40^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 40^{ème} volontaire

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,70	1,31	1,95	1,24	1,42	1,77	1,85
SBDG	0,85	1,11	1,12	0,9	0,92	0,91	0,96
SDGC 1%	0,95	1,03	0,93	0,83	0,9	0,89	0,85
SDGC 2%	0,9	0,97	0,79	0,86	0,90	1,00	0,94

41^{ème} volontaire : Evolution de la glycémie chez le 41^{ème} volontaire

Temps	0	15	30	45	60	90	120
Glucose	0,92	1,31	1,40	1,24	1,19	1,11	0,96
SBDG	0,90	0,98	1,1	0,91	0,95	0,96	0,92
SDGC 1%	0,95	1,11	0,91	0,85	0,89	0,91	0,9
SDGC 2%	0,89	0,87	1,07	0,88	0,80	1,00	0,88

**Annexe 10 : Analyse de variance: un facteur
RAPPORT DÉTAILLÉ**

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1	6	259,39	43,23166667	95,02189667
Colonne 2	6	369,15	61,525	120,55439
Colonne 3	6	336,99	56,165	50,96235
Colonne 4	6	330,21	55,035	19,83707

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés
Entre Groupes	1070,04365	3	356,6812167
A l'intérieur des groupes	1431,878533	20	71,59392667
Total	2501,922183	23	

F	Probabilité	Valeur critique pour F
4,982003827	0,009650151	3,098391224

Publications & Communications

Publications et communications

Une partie de cette présente étude, en collaboration avec les travaux menés au laboratoire de Protection des Ecosystème en Zones Arides et Semi-Arides (P.E.Z.A.S.A) de l'Université de Ouargla, a fait l'objet de publications et communications suivantes:

I/ Publications

1. 1. Publications internationales

Mimouni Y., Siboukeur O. and Bayoussef Z.. (2014). Fructose-rich syrup from Ghars cultivar dates (*Phoenix dactylifera* L.). *Emir. J. Food. Agric.*, 26(11), 35 - 41.

Siboukeur A., Mimouni Y., Hafiane A. and Siboukeur O. (2013). Extraction of dates (Cultivar 'Ghars') by Techological Process (Proceeding of the First International Symposium on date Palm). *Acta Horticulturae* 994 june.

1.2. Publication d'un livre

Livre édité par Éditions Universitaires Européennes (EUE) (2014).

Mimouni Y., Siboukeur O. (2014). Technique d'extraction de sirops de dattes ; Comparaison avec les sirops à haute teneur en fructose (HFCS). Éditions universitaires européennes, ISSN : 978-3-8381-8348-0, 184p

2. Publications nationales

Mimouni, Y et Siboukeur O. (2011). Etude des propriétés nutritives et diététiques des sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec les sirops a haute teneur en fructose (isoglucoses), issues de l'industrie de l'amidon. *Ann. Sci. Tech.* 3(1):1-11.

II/ Communications

1. Communications internationales

MIMOUNI Y et SIBOUKEUR O. (2009). Etude des propriétés nutritives et diététiques de sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec les sirops à haute teneur en fructose (isoglucose), issus de l'industrie de l'amidon. Séminaire International ; Protection et Préservation des Ecosystèmes Sahariens (1ECO-SYSO9). Université KASDI Merbah-Ouargla, le 13-14-15 Décembre 2009 Ouargla.

MIMOUNI Y et SIBOUKEUR O. (2011). Etude de l'un des aspects diététiques des dattes des trois variétés de dattier (*Phoenix dactylifera*) les plus répandues dans la cuvette de Ouargla. Le 2^{ème} Séminaire International sur les Plantes Médicinales **ISM'P2**. Université KASDI Merbah-Ouargla, le 19 et 20 Avril 2011 Ouargla.

SIBOUKEUR A., HAFIANE A., MIMOUNI Y. et SIBOUKEUR O. (2011). Essai d'élaboration d'un sirop à haute teneur en fructose à partir des dattes de la variété Ghars.

Séminaire d'échange international « aux interfaces du développement durable » SEMAGRO TECH 2011. Bejaia le 21 et 22 Juin 2011.

MIMOUNI Y et SIBOUKEUR O. (2014). Study of the glycemic index of date syrup manufactured from Ghars cultivar and spirulina (*Arthrospira platensis*). International Seminar of date palm . 16-17-18 Mars 2014 Abudabi.

SIBOUKEUR O and MIMOUNI Y. (2014). Study of the glycemic index of four cultivars. International Seminar of date palm . 16-17-18 Mars 2014 Abudabi.

2. Communications nationales

Mimouni Y. (2011). Participation à la Journée de la Science (Doctorale) qui s'est tenue le 17 Avril 2011. Développement de bioproduits diététiques à base de dates molles communes les plus répandues dans la cuvette de Ouargla. Université Kasdi Merbah Ouargla.

Mimouni Y. (2012). Participation à la Journée de la Science (Doctorale) qui s'est tenue le 16 Avril 2011. Elaboration de « Sirops à haute teneur en fructose » à partir des dattes de la variété Ghars. Université Kasdi Merbah Ouargla.

Mimouni Y. (2014). Participation à la Journée de la Science (Doctorale) qui s'est tenue le 20 Avril 2014. Développement de bioproduits diététiques à base de dates molles communes les plus répandues dans la cuvette de Ouargla. Université Kasdi Merbah Ouargla.