

# REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

Université M'Hamed Bougera Boumerdes

## Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **Master II**

Département : Génie des procédés

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Alimentaire

### THÈME

*Elaboration d'une barre énergétique pour les  
sportifs  
(Utilisation de LA PROGRAMMATION LINEAIRE)*

**Présenté par :**

M<sup>me</sup> BOUGHERARA Mahdia

M<sup>me</sup> DEROUACHE Faiza

M<sup>lle</sup> MOULOUDI Nesrine

**Jury:**

M<sup>r</sup> ZIDANI Sofiane

MCB

UMBB

President

M<sup>me</sup> HADERBACHE Latifa

MCB

UMBB

Promotrice

M<sup>r</sup> MERZOUK Mehdi

Ingénieur

SARL KaouaFOOD

Co- Encadreur

M<sup>r</sup> Benakmoum Amar

Professeur

UMBB

Examinateur

Années universitaire 2020-2021

## REMERCIEMENT

*On tient à remercier en premier lieu **ALLAH**, le tout puissant de nous donner courage, santé et patience pour achever ce travail.*

*Nous remercions nos **chers parents** qui nous ont aidés à être ce que nous sommes. On remercie leur dévouement, leur temps et leur présence constante au cours de toutes ces années d'études.*

*On exprime nos vifs remerciements à LA REINE DES MIELS*

*« **M<sup>me</sup> HADERBACHE Latifa** » qui nous a fait l'honneur d'être notre promotrice. Nous la remercions profondément pour ses encouragements et aussi d'être toujours là, pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par ces précieux conseils.*

*Nous présentons nos sincères remerciements aux groupe **Kaoua FOOD**,*

*surtout : **M<sup>r</sup> MERZOUK Mehdi** Directeur Développement,*

***M<sup>me</sup> Nadjiba**, **M<sup>me</sup> Fatma** et **M<sup>me</sup> OSMANE Karima** responsable de laboratoire physico-chimie de « **KaouaFOOD** », pour leurs encouragements et la confiance, et leur accueil durant toute la durée de ce projet. Sans oublier la « **SARL SOBCO** ».*

*En fin, Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académique et professionnelle.*

**BOUGHERARA, DEROUECHE & MOULOUDI**

# Dédicace

## ***Je dédie ce modeste travail***

*A la personne devant laquelle pour elle tous les mots de l'univers sont incapables  
d'exprimer mon amour, à ma douce Mère.*

*Mère, Si tu savais combien je t'aime.*

*A mon cher Père qui a payé de vingt-cinq années d'amour et de sacrifices le prix de  
ma façon de penser. Père, je te remercie d'avoir faite de moi une fille.*

*A mes chères frères « MEHDI & AMINE »*

*A mes chères sœurs de cœur « AMINA, RANIA, ZOLA », A mes neveux « ADEM &  
DIMA »*

*Sans oublier mon époux « YOUNES »*

*A mes oncles et tantes sans exception*

*A toute ma famille, ainsi que mes cher amis « Farah, Cyria, Rahma, Yousra,  
Amira, Houda, Fatima » Merci pour tous les bons moments qu'on a passés ensemble.*

*A mes chères copines et binômes de travail « Nesrine & Faiza »*

*A la reine des miels ma chère promotrice « M<sup>me</sup> HADERBACHE. L » Merci pour  
vos aides et conseils.*

*A tous mes professeurs de Département de Génie des procédés.*

*A toutes la Promotion de la 2<sup>ème</sup> Master Génie Alimentaire Industriel.*

***Mahdia...***

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail de mon profond cœur :*

*A la femme qui a beaucoup souffert sans me laisser souffrir, celle qui m'a arrosé de tendresse et de l'espoir, à la source de positivité et de la joie, à la mère des sentiments fragile qui ma bénie par ces prières : **Ma Mère**.*

*A l'homme de ma vie, celle qui n'a jamais dit non à mes exigences, à celui qui m'indique la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grandes choses, à Cher **Père**.*

*A mes frères « **Hamza, Khir Eddinne et Rabah** » qui ont été toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager tout au long de mes études.*

*A la reine des miels à ma modeste promotrice «**M<sup>me</sup> HADERBACHE.L** » pour sa générosités et sa disponibilité.*

*A mes très chères adorables copines, qui était toujours fidèles, merci pour les moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*Sans oublier mes deux charmants binômes « **Mahdia et Faiza** », pour leur patience et leur compréhension tout au long de ce projet.*

*Nesrine...*

# *Dédicace*

*A tous ceux que j'aime.*

*Faiza*

## Résumé

L'objectif de notre travail est d'élaborer un aliment énergétique qui répond aux besoins énergétiques des sportifs, à partir de produits locaux : farine d'avoine, caroube et datte commune, graine de sésame. Et ceci par une formulation d'une barre énergétique, à travers une méthode mathématique « la programmation linéaire », on a obtenu pour la première recette (25% avoine, 5% caroube, 34% poudre de datte, 33% graine de sésame), la deuxième recette (20% avoine, 3% caroube, 40% poudre de datte, 35% graine de sésame). Les résultats obtenus après le test de dégustation montrent une bonne appréciation pour l'apparence, et moyenne pour le goût, l'amertume et l'odeur, prouvant que cette formulation devra être améliorée.

**Mots clé :** Produits locaux, formulation, barre énergétique, programmation linéaire.

### ملخص

الهدف من عملنا هو صناعة منتج طاقوي يلبي الاحتياجات الطاقوية للرياضيين، باستخدام منتجات محلية؛ دقيق الشوفان، الخروب، التمر، بذور السمسم. وهذا من خلال صياغة لمجة طاقوية، عن طريق إستعمال طريقة رياضية "البرمجة الخطية، حصلنا على الوصفة الأولى (25% شوفان، 5% خروب، 34% مسحوق تمر، 33% بذور سمسم)، الوصفة الثانية (20) % شوفان، 3% خروب، 40% بودرة تمر، 35% بذور سمسم) أظهرت النتائج بعد إختبار التذوق تقديرا جيدا بالنسبة للمظهر، أما فيما يخص الذوق والمرارة والرائحة فالنتائج كانت متوسطة. لذلك لا بد من إيجاد حلول لتحسين الصياغات.

**الكلمات المفتاحية:** المنتجات المحلية، الصناعة، لمجة طاقوية، البرمجة الخطية.

### Abstract

The objective of our work is to develop an energy food that meets the energy needs of athletes, from local products; oats, carob and date powder, sesame seed by formulating an energy bar, through a mathematical method "linear programming", we obtained for the first recipe (25% oats, 5% carob, 34% date powder, 33% sesame seed), the second recipe (20% oats, 3% carob, 40% date powder, 35% sesame seed). Results after organoleptic test show a good appreciation for appearance, but less appreciation for taste, bitterness and odor. Proving that our formulation have to be enhanced.

**Keywords:** Local products, formulation, energy bar, linear programming.

# Sommaire

## Introduction générale

### Eude bibliographique

#### Chapitre I : Aliments santé et alimentation pour sportif

1	Les aliments santé et aliments fonctionnels .....	3
1.1	Définition des aliments santé .....	3
1.2	Définition des aliments fonctionnels .....	3
2	Les différents nutriments provenant de l'alimentation .....	3
2.1	Macronutriments.....	3
2.2	Micronutriments .....	6
3	Sport et Alimentation de sportif .....	7
3.1	Le sport.....	7
3.2	Alimentation du sportif .....	8
3.3	Chronologie de l'alimentation pour l'activité physique .....	8
3.3.1	Alimentation avant l'exercice .....	8
3.3.2	Alimentation pendant l'exercice.....	8
3.3.3	Alimentation après l'exercice.....	9
3.3.4	Hydratation.....	11
3.4	Aliments diététiques pour sportif .....	12
4	Les barres diététiques.....	12
5	Barre énergétique.....	12
5.1	Définition d'une barre énergétique .....	12
5.1.1	Avant l'exercice physique.....	13
5.1.2	Pendant l'exercice physique.....	13
5.1.3	Après l'exercice physique .....	13
5.2	La composition d'une Barre énergétique .....	13

#### Chapitre II : Les matières premières

6	Les matières premières.....	14
6.1	L'avoine .....	14
6.1.1	Description botanique .....	14
6.1.2	Apports nutritionnels .....	15
6.2	Les Dattes.....	15
6.2.1	Description botanique .....	15
6.2.2	Composition de la datte.....	16
6.2.3	La farine de datte .....	16
6.2.4	Apports nutritionnels .....	17
6.3	La caroube .....	17
6.3.1	Description botanique .....	17
6.3.2	Feuille .....	17

6.3.3	Fleur .....	18
6.3.4	Fruits .....	18
6.3.5	Apports nutritionnels .....	18
6.4	Graine de sésame .....	19
6.4.1	Description botanique .....	19
6.4.2	Composition de la graine de sésame .....	20
6.4.3	Apports nutritionnels .....	20
6.5	Le beurre de cacao .....	21

### **Chapitre III : Habitudes alimentaires et méthode de formulation**

7	L'évolution alimentaire .....	22
7.1	Habitudes alimentaire ces dix dernières années (2010-2020) .....	22
7.1.1	Les changements sociologiques .....	22
7.1.2	Les changements technologie .....	23
7.1.3	Les changements des goûts des consommateurs .....	23
7.1.4	Les changements des modes de consommation .....	23
7.2	Le comportement des consommateurs en 2020 .....	24

### **Partie expérimentale**

#### **Matériels et méthodes**

8	Formulation d'aliment .....	24
8.1	Les Méthodes utilisées pour la Formulation en agroalimentaire .....	25
8.1.1	Méthodes Manuelles .....	25
8.1.2	Méthodes de programmation mathématique .....	27
9	Préparation du matériel végétal .....	29
9.1	Préparation de la poudre d'avoine .....	29
9.2	Préparation de la poudre de datte .....	29
9.2.1	Triage et nettoyage .....	29
9.2.2	Dénoyautage .....	29
9.2.3	Découpage .....	30
9.2.4	Séchage ou déshydratation .....	30
9.2.5	Broyage et Tamisage .....	30
9.3	Préparation de la poudre de caroube .....	31
9.4	Préparation des graines de sésame .....	31

#### **Formulation**

10	Résultats de la Programmation linéaire .....	32
10.1	Résultats pour la recette A .....	32
10.2	Résultats pour la Recette B .....	33
11	Choix de ces produits .....	34
12	Les Différents types de préparation .....	34
12.1	Préparation du beurre de cacao fondu .....	34

12.2	Préparation d'un mélange de 100 g des ingrédients secs .....	34
12.3	L'émulsifiant polyricinoléate de polyglycérol « PGPR » .....	35
13	Les Différents méthodes .....	37
13.1	Méthode de moulage et de démoulage .....	37
13.2	Méthode de trempage des échantillons .....	37
13.3	Méthode d'enrobage .....	37
14	Essais de formulations .....	38
14.1	Méthode de ramassage des ingrédients secs avec du chocolat « végécao » .....	38
14.2	Choix de la poudre de caroube (degré 45 ou bien 30) .....	38
14.3	Méthode de ramassage des ingrédients secs avec du beurre de cacao et de l'eau .....	39
14.4	Optimisation de la quantité de matière d'enrobage .....	39
14.5	Choix de pourcentage de PGPR. ....	40
15	Test de dégustation des préparations BE optimisées .....	40
15.1	Lieu et date du test .....	40
15.2	L'objectif du test .....	41
15.3	Profil du panel de dégustation .....	41
15.4	Déroulements du test .....	41
16	Test de stabilité .....	42
16.1	Déroulements de test .....	42
17	Résultats du test de dégustation .....	45
18	Test de Friedman .....	47

## **Résultats et discussion**

18.1	Résultats .....	48
18.1.1	Critère apparence .....	48
18.1.2	Critère odeur .....	48
18.1.3	Critère Goût .....	49
18.1.4	Critère amertume .....	49
18.2	La valeur énergétique pour 100g .....	50

### **Conclusion générale**

### **Référence bibliographiques**

### **Annexes**

## Liste des Figures

<b>Figure 1:</b> Photographie de l'avoine (graines et poudre) -----	15
<b>Figure 2:</b> Schéma d'une datte et de son noyau -----	16
<b>Figure 3:</b> Présentation de la plante de sésame -----	19
<b>Figure 4:</b> Le beurre de cacao -----	21
<b>Figure 5:</b> Dattes «Mech-Degla» Triées -----	29
<b>Figure 6:</b> Dattes «Mech-Degla» dénoyautées -----	29
<b>Figure 7:</b> Dattes «Mech-Degla» découpées-----	30
<b>Figure 8:</b> Dattes «Mech-Degla» découpées séchées-----	30
<b>Figure 9:</b> Farine de dattes «Mech-Degla» -----	31
<b>Figure 10:</b> Photographie de la poudre de la caroube-----	31
<b>Figure 11:</b> Deux fiches de programmation linéaire de différentes barres énergétiques----	33
<b>Figure 12:</b> Les produits utilisés "avoine, poudre de datte, caroube et graines de sésame" 34	
<b>Figure 13:</b> Mélange des produits utilisés-----	34
<b>Figure 14:</b> L'émulsifiant PGPR -----	35
<b>Figure 15:</b> Diagramme de fabrication des barres énergétiques -----	36
<b>Figure 16 :</b> Les barres enrobées de végécao -----	37
<b>Figure 17:</b> Des barres énergétiques sans enrobage-----	37
<b>Figure 18:</b> Barre énergétique sans émulsifiant -----	38
<b>Figure 19:</b> Des échantillons pour choisir la caroube-----	38
<b>Figure 20:</b> Les différentes quantités de PGPR (Originale)-----	40
<b>Figure 21:</b> La barre énergétique commerciale "DATINA" -----	41
<b>Figure 22:</b> Des barres énergétiques moisies après 1 mois-----	43
<b>Figure 23:</b> Fiche de dégustation-----	44

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1:</b> Tableau des Classification des nutriments selon la source alimentaire -----	5
<b>Tableau 2:</b> Tableau des nutriments clés dans le Guide alimentaire canadien-----	7
<b>Tableau 3:</b> Tableau des différentes types de boissons-----	9
<b>Tableau 4 :</b> Tableau de quelques exemples de repas-collation -----	10
<b>Tableau 5:</b> Composition de 100 g d'avoine -----	15
<b>Tableau 6:</b> Composition de 100 g de datte sèche -----	17
<b>Tableau 7:</b> Composition de 100 g de caroube-----	19
<b>Tableau 8:</b> Composition de 100 g de graine de sésame -----	20
<b>Tableau 9:</b> La quantité d'une préparation de 100 g pour les deux recettes -----	35
<b>Tableau 10:</b> Les différentes quantités de beurre de cacao et d'eau -----	39
<b>Tableau 11:</b> Les résultats d'utilisation des différents pourcentages de « PGPR » -----	40
<b>Tableau 12:</b> tableau des statistiques « catégories sportives, Aliment diététique » -----	41
<b>Tableau 13:</b> Les différents changements d'une barre énergétique -----	42
<b>Tableau 14:</b> Tableau des Scores des panélistes -----	45
<b>Tableau 15:</b> Tableau des classements -----	46
<b>Tableau 16:</b> Tableau des paramètres p, n et L pour notre essai -----	47
<b>Tableau 17:</b> Résultats des sommes des rangs et leur carré par produit et par critère -----	48
<b>Tableau 18:</b> Paramètres statistiques pour le test de Friedman -----	48
<b>Tableau 19:</b> Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « odeur »-----	49
<b>Tableau 20:</b> Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « goût » -----	49
<b>Tableau 21:</b> Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « amertume »- 50	
<b>Tableau 22 :</b> Valeurs énergétique-----	49
<b>Tableau 23:</b> Table de Gaussienne	
<b>Tableau 24:</b> Table de Khi x2	

## Liste des abréviations

**VO<sub>2</sub> max** : La consommation maximale d'oxygène

**EPS** : Education Physique et Sportive

**BE (s)** : Barres Energétique

**BCAA** : Acides aminés branchés

**BC** : Beurre de cacao

**M** : Mélange (Avoine, poudre de datte, caroube et graine de sésame)

**PGPR** : polyricinoléate de polyglycérol

**ECH(s)** : Echantillon(s)

**DLC** : Date Limite de Consommation

---

*Introduction Générale*

---

## Introduction générale

L'industrie alimentaire, comme les autres industries ont connu une grande évolution. Cette évolution favorable aux consommateurs cherche depuis toujours un produit de qualité adapté aux besoins fondamentaux de l'organisme, à la santé, à la sécurité et à la protection de la vie du citoyen (**Messaid, 2007**).

La nature nous offre plusieurs matières premières, ayant des valeurs nutritives intéressantes. L'avoine, la datte, la caroube et les graines de sésame sont un exemple compte-tenu de leurs grandes teneurs en sucre et de leurs éléments minéraux par rapport à la matière sèche. Ces produits connus depuis l'antiquité par les Algériens, sont appréciés pour leurs goûts et leurs valeurs nutritives.

L'évolution actuelle du marché des produits alimentaires incite l'industrie de la transformation à élaborer sans cesse de nouveaux produits. L'alimentation santé suscite de plus en plus l'intérêt des consommateurs. Selon l'organisation mondiale de la santé. Une alimentation saine aide à se protéger contre toutes les formes de malnutrition, ainsi que contre les maladies non transmissibles parmi lesquelles le diabète, les cardiopathies, les accidents vasculaires cérébraux et le cancer (**Organisation Mondiale de la Santé, 2018**).

L'avoine est l'une des céréales les plus complètes et les plus saines, elle a une teneur élevée en protéines, glucides (**Belaid, 2016**). L'Algérie occuperait le 7<sup>ème</sup> rang mondial avec une production totale d'avoine de 113.286 tonnes/an (**FAO, 2013**)

La datte constitue un excellent aliment de grande valeur nutritive et énergétique, riche en sucre ; saccharose, glucose et fructose, en protides, vitamines et éléments minéraux, la production nationale des dattes a atteint 12 millions de quintaux en 2019 (**Omari,2/12/2019**)

La caroube est un fruit très riche en éléments nutritifs, elle est utilisée dans les préparations des aliments diététiques (**Kaderi, 2015**), Les fibres et la farine de cette plante sont utilisées dans la régulation des niveaux de glucose dans le sang et dans la réduction du niveau de cholestérol total (**Guggenbichler, 1983**) la caroube a fait l'objet d'un commerce important, selon la FAO, L'Algérie produit 7000 tonnes par an. La grande partie de cette production est exportée (**Boublenza, 24/09/2020**).

Dans un souci de valorisation des produits de terroir tel que l'avoine, la datte, la caroube, et le sésame, et pour bénéficier de leurs composants et leurs vertus thérapeutiques nous avons choisi de travailler sur la formulation d'une barre énergétique pour les sportifs, en utilisant une méthode mathématique efficace qui consiste à calculer les proportions de chaque composant utilisé pour obtenir un mélange satisfaisant les besoins nutritionnels du consommateur ciblé.

Cette étude comprend :

- ❖ Une première partie relative à l'étude bibliographique comprenant trois chapitres :
  - Aliments santé et alimentation pour sportif.
  - Les matières premières.
  - Méthode de formulation et habitude alimentaire.
- ❖ Une deuxième partie expérimentale présentant :
  - Présentation de matériel végétal utilisé et, le mode opératoire.
  - L'exploitation des résultats obtenus par une programmation linéaire pour la formulation de notre produit, les tests de dégustation
- ❖ Une troisième partie concernant les résultats obtenus et discussions et enfin une conclusion.

---

---

# *Bibliographie*

---

---

# *Chapitre* | *I*

---

*Aliments Santé et  
Alimentation pour sportif*

---

***Chapitre I : Aliments santé et alimentation pour sportif***

---

*Ce chapitre présente des généralités sur les aliments santé, ainsi que les différents aliments des sportifs, et la composition d'une barre énergétique.*

---

Depuis quelques années, les consommateurs sont de plus en plus conscients du lien entre l'alimentation et la santé, à la lumière des nouvelles preuves selon lesquelles une alimentation saine peut réduire les risques de maladies chroniques telles que les coronaropathies, le diabète et le cancer. Les aliments fonctionnels et les produits de santé naturels, tout comme les changements plus généraux dans les habitudes alimentaires, offrent d'excellentes possibilités d'améliorer la santé et le bien-être ; ils réduisent les effets néfastes de certaines conditions physiques (par exemple : l'hypertension) ainsi que le risque de nouvelles maladies (**Blandon, 2007**)

## **1 Les aliments santé et aliments fonctionnels**

### **Définition des aliments santé**

Un aliment santé, c'est un aliment sain, non transformé, composé de nutriments de qualité (**Censier, 2018**).

### **Définition des aliments fonctionnels**

Un aliment fonctionnel est semblable en apparence aux aliments conventionnels. Il fait partie de l'alimentation normale et procure des bienfaits physiologiques démontrés et/ou réduit le risque de maladie chronique au-delà des fonctions nutritionnelles de base (**Paquin, 2009**).

## **2 Les différents nutriments provenant de l'alimentation (Boutet, 2007)**

### **Macronutriments**

Les glucides (sucres) constituent la principale source d'énergie utilisée par le corps. Une alimentation riche en glucides optimise l'accumulation de glycogène musculaire et réduit ainsi la fatigue précoce. C'est pourquoi de 55 % à 60 % de l'apport énergétique total devrait provenir des glucides. Plus l'exercice est intense et prolongé, plus le taux de

glycogène musculaire chute. Par conséquent, un taux élevé au début de l'exercice accroît l'endurance du sportif, la fatigue étant en étroite relation avec la diminution du taux de glycogène musculaire.

La consommation de glucides complexes devrait être encouragée, car ces aliments sont faciles à digérer et limitent les risques d'élévation rapide de la glycémie et d'hyperinsulinémie. De plus, ils contiennent peu de matières grasses et beaucoup de fibres, ce qui crée une sensation de satiété. En outre, ils permettent de rester en bonne santé (**Tableau 1**).

Il est préférable d'éviter de consommer de grandes quantités de glucides simples dans l'heure qui précède un exercice ou une compétition (**Tableau 1**). En effet, la production d'insuline qui s'ensuit limite l'utilisation des réserves énergétiques musculaires, cause une hypoglycémie réactionnelle et freine, par le fait même, la performance. De plus, les glucides simples apportent beaucoup de calories, mais n'ont aucune valeur nutritive. Si un sportif tient absolument à consommer un produit très sucré, il doit le prendre de préférence après l'échauffement ou cinq minutes avant le début de l'exercice. Les glucides ainsi utilisés par le muscle en exercice n'entraîneront pas une hausse inappropriée de la glycémie.

Plus l'intensité de l'exercice est élevée, plus les glucides sont utilisés comme source d'énergie. Par exemple, un exercice exigeant plus de 70 % de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2$  max) utiliserait les glucides comme carburant principal tandis qu'un autre à 50 % du  $VO_2$  max emploierait les matières grasses pour aller chercher les deux tiers de l'énergie et les glucides, pour le tiers restant.

La récupération complète des réserves de glycogène musculaire et hépatique est un processus lent qui prend de 24 à 48 heures. Le taux de présynthèse du glycogène après l'exercice dépend en grande partie des glucides de l'alimentation qui doivent être consommés le plus tôt possible après l'activité pour de meilleurs résultats (**Boutet, 2007**).

Les lipides (matières grasses) sont importants, car ils fournissent de l'énergie ainsi que des acides gras essentiels. Ils sont nécessaires au transport et à l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E, K). Comme les glucides, ils constituent une source concentrée d'énergie pour le corps et sont des substrats métaboliques efficaces pour l'activité musculaire de faible intensité exécutée dans des conditions aérobies. Une alimentation comportant moins de 15 % ou plus de 30 % de matières grasses ne semble pas accroître davantage la performance. Enfin, la digestion des lipides est plus lente que celle

des glucides et des protéines. Par conséquent, lorsque les lipides sont consommés avec d'autres substances, ils peuvent en ralentir l'absorption.

La proportion d'énergie fournie par les lipides diminue à mesure que l'intensité de l'exercice s'accroît, puisque la contribution des glucides augmente (**Boutet, 2007**).

Les protéines, principaux constituants des muscles, assurent la réparation tissulaire. Chez les gens actifs, les besoins en protéines sont légèrement accrus et peuvent habituellement être comblés uniquement par l'alimentation, sans ajout de suppléments, dans la mesure où l'apport énergétique est suffisant pour assurer le maintien du poids. Les protéines contribuent aux réserves énergétiques au repos et à l'exercice, mais représentent moins de 5 % de la dépense énergétique. À mesure que l'exercice se prolonge, les protéines peuvent contribuer au maintien de la glycémie par l'entremise de la gluconéogenèse hépatique. Si l'apport en glucides et en lipides est insuffisant, les protéines seront utilisées comme source d'énergie au lieu de servir à la synthèse et à la réparation des tissus.

**Tableau 1:** Tableau des Classification des nutriment selon la source alimentaire (Gauthier, Mars 2003).

Macronutriments		
<i>Glucides</i>		
<i>Glucides complexes (amidon)</i>		<i>Glucides simples</i>
Céréales Pain Pommes de terre Riz Légumineuses Légumes		Fruits Jus de fruits Pâtes Miel, sirop Mélasse Sucre blanc, cassonade Confiture Friandises
<b>Lipides (matières grasses)</b>		
<i>Gras saturés</i>	<i>Gras mono- et polyinsaturés</i>	<i>Cholestérol</i>
Gras d'origine animale et produits laitiers	Surtout gras d'origine végétale (huiles, noix, graines) Poissons Acides gras oméga-3 et oméga-6	Produit par le corps ou contenu dans les aliments (fruits de mer, œufs)
<b>Protéines</b>		
<i>Complexes (présence de tous les acides aminés essentiels)</i>		<i>Incomplètes (absence d'un ou de plusieurs acides aminés)</i>
Viande, poisson, volaille Œufs, produits laitiers		Tofu, légumineuses Noix, graines, céréales
Micronutriments		
Vitamine		Minéraux (calcium, fer, etc.)
<i>Note : Tous les groupes alimentaires contiennent des nutriment.</i>		

Une consommation trop importante de protéines sous forme d'aliments ou de suppléments entraîne une augmentation des besoins en eau et peut donc conduire à la déshydratation. De plus, cet apport exagéré n'amène pas nécessairement un accroissement de la masse musculaire, mais peut causer un gain de masse grasse si la dépense énergétique est insuffisante. Aussi, l'excédent de protéines ne pouvant être emmagasiné dans notre corps, les reins doivent travailler plus fort pour l'éliminer (**Boutet, 2007**).

### **Micronutriments**

Vitamines et minéraux jouent un rôle important dans la production d'énergie en servant de catalyseurs à la transformation des macronutriments en énergie. De plus, ils participent à la synthèse de l'hémoglobine (fer), au maintien de la santé des os (calcium), à la fonction immunitaire et à la protection des tissus contre l'oxydation (effet antioxydant). Ils sont également nécessaires à la formation des tissus musculaires et à leur réparation.

À moins de restreindre leur apport énergétique, d'adopter des stratégies d'amaigrissement ou de cesser de consommer un ou plusieurs groupes d'aliments, les gens actifs et les athlètes n'ont pas besoin de suppléments de vitamines et minéraux s'ils ont une alimentation variée qui leur procure la quantité d'énergie adéquate pour maintenir leur poids. L'ingestion massive de vitamines et de minéraux n'aide pas à améliorer la performance, ni à fournir de l'énergie et peut même entraîner des effets indésirables.

Les légumes et les fruits sont particulièrement riches en micronutriments, mais chaque groupe alimentaire contribue à l'apport de l'ensemble des vitamines et minéraux (**Tableau 2**).

Les premières carences en minéraux susceptibles de survenir chez les sportifs, en particulier chez les femmes, sont celles en calcium et en fer. De faibles apports alimentaires sont en général attribuables à une restriction énergétique ou à l'élimination des produits d'origine animale (viande, poisson, volaille, produits laitiers). Une consommation insuffisante de calcium accroît le risque d'une diminution de la densité osseuse et de fractures de stress. Le calcium est surtout présent dans les produits laitiers ainsi que dans les poissons en conserve, les légumes verts et les légumineuses en quantité moindre.

L'épuisement des réserves de fer peut être causé par un apport insuffisant, les menstruations ou un entraînement régulier, ce qui a peu de conséquences, sauf en cas d'anémie ferriprive. La viande constitue la meilleure source de fer, car elle contient de grandes quantités de fer sous une forme facilement assimilable.

Les légumineuses, les produits céréaliers à grains entiers et enrichis, les légumes verts et les fruits secs en renferment aussi, mais sous une forme plus difficile à assimiler. Pour en faciliter l'absorption, on peut consommer en même temps des aliments contenant de la vitamine C (jus d'orange et jus de fruits) (**Boutet, 2007**).

**Tableau 2:** Tableau des nutriments clés dans le Guide alimentaire canadien pour manger sainement(Santé Canada, 2006).

Guide alimentaire	Produits céréaliers	Légumes et fruits	Produits laitiers	Viandes et substituts
<b>Protéines</b>	Protéines	-	Protéines	Protéines
<b>Matières Grasses</b>	-	-	Matières Grasses	Matières Grasses
<b>Glucides</b>	Glucides	Glucides	-	-
<b>Fibres</b>	Fibres	Fibres	-	-
<b>Thiamine</b>	Thiamine	Thiamine	-	Thiamine
<b>Riboflavine</b>	Riboflavine	-	Riboflavine	Riboflavine
<b>Niacine</b>	Niacine	-	-	Niacine
<b>Folacine</b>	Folacine	Folacine	-	Folacine
<b>Vitamine B<sub>12</sub></b>	-	-	Vitamine B <sub>12</sub>	Vitamine B <sub>12</sub>
<b>Vitamine C</b>	-	Vitamine C	-	-
<b>Vitamine A</b>	-	Vitamine A	Vitamine A	-
<b>Vitamine D</b>	-	-	Vitamine D	-
<b>Calcium</b>	-	-	Calcium	-
<b>Fer</b>	Fer	Fer	-	Fer
<b>Zinc</b>	Zinc	-	Zinc	Zinc
<b>Magnésium</b>	Magnésium	Magnésium	Magnésium	Magnésium

### **3 Sport et Alimentation de sportif**

#### **Le sport**

Le sport (EPS « Education Physique et Sportive », loisir, entraînement, compétition) s'inscrit dans le cadre des activités physiques au sens le plus large possible (activités professionnelles ou domestiques). Il représente un excellent moyen d'entretien, voire d'amélioration de la condition physique. Il est devenu, dans la société de plus en plus sédentaire, un véritable phénomène pouvant conduire dans certains cas à des pratiques déviantes et à risque, trop souvent médiatisées (**Rochcongar, 2007**).

## **Alimentation du sportif**

L'alimentation du sportif est un élément déterminant pour la pratique d'une activité sportive régulière, qu'elle soit de haut niveau ou simplement de loisir. Le respect de règles alimentaires essentielles est bénéfique pour la santé. De plus, une alimentation saine et équilibrée participe à l'amélioration des performances sportives.

Les sportifs doivent consommer quotidiennement ou très régulièrement les aliments suivants :

- Des fruits et des légumes frais.
- Des œufs.
- Du lait et des produits laitiers.
- Des produits de la mer (poissons et fruits de mer).
- Des céréales non raffinées et complètes.
- Des légumes secs (Estelle, 15 mai 2018).

## **Chronologie de l'alimentation pour l'activité physique(Boutet, 2007 )**

### **3.1.1 Alimentation avant l'exercice**

Avant l'exercice, l'alimentation doit d'abord être riche en glucides afin de maintenir le taux de glucose sanguin et de limiter la diminution des réserves de glycogène. De plus, les glucides sont faciles à digérer et sont absorbés rapidement. Il faut aussi limiter la quantité de matières grasses et de protéines. Bien que ces règles soient fondées et généralement faciles à appliquer, il faut considérer les besoins individuels.

### **3.1.2 Alimentation pendant l'exercice**

Afin de ne pas épuiser complètement ses réserves de glycogène, il faut avant tout remplacer l'énergie et les liquides utilisés (voir la section sur l'hydratation). Même si l'eau demeure le premier choix, les boissons pour sportifs contenant de 4 % à 8 % de glucides peuvent être utiles par temps chaud et humide ou si l'exercice se prolonge plus d'une heure (*Tableau 3*).

**Tableau 3:** Tableau des différentes types de boissons (Blanchet and Boutet, Septembre 2004)

Boissons pour sportifs			
	Glucides (%)	Sodium (mg/l)	Potassium (mg/l)
<b>Valeurs idéale</b>	De 4 à8	< 230	<195
<b>Jus de fruits</b>	15	<30	>1000
<b>Boissons gazeuses</b>	11	0	0
<b>Gatorade</b>	6	420	130
<b>All Sport</b>	9	220	220
<b>Powerade</b>	9	125	140
Boissons maison			
500 ml de jus de fruits + 500 ml + 1/4 cuillerée à thé de sel			
Boissons de récupération			
Ratio glucides/protéines de trois pour un			
Lait au chocolat			
Boissons maison			
500 ml de lait + 75 ml de jus de fruits			
ou			
L 250 ml de lait + 15 ml poudre de chocolat + 1/2 banane			

En outre, une collation solide riche en glucides peut aussi être consommée selon la durée et l'intensité de l'exercice et la dépense énergétique (**Tableau 4**). Que les glucides soient consommés sous forme de boissons pour sportifs, d'aliments solides ou de gels de glucides accompagnés d'eau ne semble pas avoir d'importance, c'est la quantité totale ingérée qui compte.

Pour les gens actifs qui s'entraînent le matin avant de manger lorsque la concentration de glycogène hépatique est faible, la prise de glucides exogènes contribue à maintenir le taux de glucose sanguin. Pour les activités de longue durée, la consommation de glucides est d'autant plus importante qu'il n'y a pas eu surconsommation glycogénique ni repas préexercice. La consommation doit commencer peu après le début de l'exercice.

### 3.1.3 Alimentation après l'exercice

L'hydratation et la consommation d'aliments après l'exercice visent à remplacer rapidement les liquides perdus (un litre par kilogramme perdu) ainsi que les glucides et les électrolytes utilisés et à refaire les réserves de glycogène. Si l'activité ou l'entraînement dur plus de 60 minutes, il faut boire beaucoup et consommer une source de glucides et de protéines dans un ratio de trois pour une (boisson de récupération) dans les 15 à 30 minutes suivant l'effort (**Tableau 3**). La synthèse du glycogène et la réduction du catabolisme protéique sont facilitées par l'ingestion de cette boisson qui peut contenir des glucides

simples. De plus, la présence de protéines dans la boisson améliore la capacité de synthèse musculaire.

**Tableau 4 :** Tableau de quelques exemples de repas-collation(Gauthier and Ledoux, Mars 2003).

Déjeuner
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Céréales, pain, bagel, muffin maison, pain doré, crêpes, gaufres*</li> <li>▪ Yogourt contenant de 0 % à 2 % de matières grasses, lait à 1 % ou lait écrémé</li> <li>▪ Fromage cottage</li> <li>▪ OEufs à la coque ou pochés, omelette aux légumes, jambon maigre</li> <li>▪ Fruits frais ou en conserve*</li> <li>▪ Confiture, miel, sirop d'érable*</li> </ul>
Dîner et souper
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soupe (à base de bouillon ou de consommé)</li> <li>▪ Légumes crus, cuits à la vapeur ou bouillis</li> <li>▪ Viandes, poissons, volailles grillés ou rôtis</li> <li>▪ Viandes froides maigres (poitrine de dinde, rôti de porc, jambon, etc.)</li> <li>▪ Pommes de terre au four, bouillies ou en purée</li> <li>▪ Riz à la vapeur ou bouilli*</li> <li>▪ Nouilles ou pâtes alimentaires nature ou avec sauce aux légumes*</li> <li>▪ Salade de laitues, de légumes, de fruits, de légumineuses</li> <li>▪ Pains, craquelins à faible teneur en gras, biscuits secs</li> <li>▪ Fromage à faible teneur en gras</li> <li>▪ Fruits, yogourt contenant de 0 % à 2 % de matières grasses, yogourt glacé, sorbet</li> </ul>
Collations
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bretzels*</li> <li>▪ Maïs soufflé à faible teneur en gras</li> <li>▪ Fromage cottage et fruits</li> <li>▪ Barres granolas à faible teneur en gras*</li> <li>▪ Barres énergétiques*</li> <li>▪ Céréales et fruits*</li> <li>▪ Yogourt, yogourt glacé</li> <li>▪ Fruits frais, en conserve ou séchés*</li> <li>▪ Légumes frais</li> <li>▪ Galettes de riz soufflé*</li> <li>▪ Noix et graines</li> <li>▪ Gel énergétique*</li> </ul>
<p><i>*Ces aliments sont riches en glucides et donc à favoriser.</i></p>

Le repas ou la collation post exercice doit être composé d'aliments riches en glucides, surtout si l'on prévoit s'entraîner ou participer à une autre compétition dans les 12 à 24 heures suivantes (**Tableau 4**).

Le moment de la prise des glucides après un exercice a un effet sur la synthèse de glycogène à court terme. La consommation de glucides immédiatement après plutôt que deux heures plus tard entraîne un taux de glycogène plus élevé six heures après l'exercice. L'ajout de protéines à un repas ou la consommation d'une collation après un exercice peut fournir les acides aminés nécessaires à la réparation des protéines musculaires et favoriser un profil hormonal plus anabolisant. Ces recommandations sur la répartition alimentaire sont moins importantes si une ou deux journées séparent les entraînements intensifs ou les

compétitions. En effet, lorsqu'une quantité suffisante de glucides est fournie au cours d'une période de 24 heures, le moment de l'ingestion ne semble pas influencer sur la quantité de glycogène mise en réserve (**Boutet, 2007**).

### **3.1.4 Hydratation**

Un déficit en eau entraîne une déshydratation qui peut entraver la performance, occasionner des symptômes physiques (fatigue, crampes, etc.) et accroître le risque d'hyperthermie et de coup de chaleur. C'est pourquoi les gens actifs et les athlètes doivent s'efforcer de bien s'hydrater avant, pendant et après l'exercice.

L'importance des pertes hydriques varie d'une personne à l'autre. Pour les besoins de remplacement, chaque kilogramme de poids perdu correspond à un litre d'eau. Au cours d'un exercice de courte durée (moins d'une heure) sans sudation excessive, l'eau demeure la meilleure boisson. Il faut commencer à boire tôt, car la déshydratation est déjà présente lorsque la soif se fait sentir.

L'apport en électrolytes (sodium et potassium) peut être profitable lorsque l'activité est pratiquée par temps chaud et humide, qu'il y a transpiration excessive ou que l'activité se prolonge plus de deux à quatre heures. Étant donné que la plupart des boissons commerciales destinées aux sportifs ne renferment pas suffisamment de sodium pour remplacer les pertes, les athlètes peuvent compenser en consommant des aliments riches en sel ou en ajoutant du sodium dans leur boisson de réhydratation.

Il faut choisir de préférence des boissons dont la concentration en glucides ne dépassant pas 8 %. Une concentration plus élevée peut ralentir la livraison des glucides aux muscles et provoquer des malaises gastriques occasionnés par le séjour prolongé dans l'estomac, ce qui favorise une rétention d'eau et limite l'hydratation (**Tableau 3**).

Après une activité ou une compétition épuisante, des boissons de récupération à valeur nutritive contenant glucides et protéines peuvent contribuer à renouveler les réserves de glycogène et à réparer les tissus (**Tableau 3**). Ces boissons sont utiles pour les sportifs engagés dans un programme intensif comptant plus d'une épreuve par jour ou plusieurs journées d'entraînement ou de compétitions consécutives. Elles sont particulièrement efficaces lorsque le ratio glucides /protéines est de trois pour un et qu'elles sont consommées rapidement après l'effort (moins de trente minutes).

L'équilibre hydrique ne peut être maintenu pendant l'exercice que si l'ingestion et l'absorption de liquides sont équivalentes aux pertes occasionnées par la sudation et par l'évacuation d'urine. Cet équilibre n'est pas toujours possible, car les taux maximaux de

sudation dépassent ceux de vidange gastrique qui à leur tour limitent l'absorption des liquides. Souvent, l'apport de liquide pendant l'exercice est inférieur aux quantités qui peuvent être libérées de l'estomac et absorbées dans l'intestin (**Boutet, 2007**).

### **Aliments diététiques pour sportif**

Pour combler leurs besoins en glucides, certains sportifs prendront des gels de glucides ou des barres, pendant l'effort de longue durée. L'exercice intense peut diminuer le goût pour les aliments solides et très sucrés. Il faut aussi s'assurer de boire beaucoup en consommant ces aliments concentrés et bien choisir des aliments spécialisés dans le cadre du régime pour sportif.

Les boissons de récupération sont aussi utiles aux grands sportifs pour refaire les réserves musculaires de glycogène et réparer les tissus. Les muscles auront alors ce qu'il leur faut pour refaire leurs réserves énergétiques. Pour les gens qui pratiquent une activité physique modérée, une boisson de récupération n'est pas nécessaire. Elle annulerait la perte de calories occasionnée par l'exercice. Un bon repas complet en temps opportun est plus approprié (**Zubiria, Février 2018**).

## **4 Les barres diététiques**

Les barres diététiques sont des compléments alimentaires pratiques et faciles à consommer. Selon les besoins du sportif, elles peuvent se décliner sous forme de barres énergétiques (BE), des barres protéinées, contenant plus ou moins de glucides (**Laboratoire Terravita, 2004-2021**).

## **5 Barre énergétique**

### **Définition d'une barre énergétique**

C'est un produit qui est consommé dans un moment de la journée ou pendant une étape d'une activité physique pour la catégorie sportive. Il existe des barres qui fournissent l'énergie et les nutriments nécessaires avant, pendant et après l'exercice physique comme montré ci-dessous (**Secrétariat de l'accès aux marchés Rapport d'analyse des marchés mondiaux, Février 2014**).

### **5.1.1 Avant l'exercice physique**

Cette barre libérerait rapidement des glucides avant et pendant l'exercice physique.

### **5.1.2 Pendant l'exercice physique**

Cette barre fournirait un flux d'énergie optimal au cours de l'entraînement tout en assurant un apport de protéines pour le corps.

### **5.1.3 Après l'exercice physique**

Cette barre fournirait les glucides et les protéines dont le corps a besoin pour la régénération musculaire.

## **La composition d'une Barre énergétique**

Une barre énergétique (BE) doit être en mesure d'apporter au consommateur une quantité suffisante et précise de certains nutriments. Les BE(s) de bonne qualité doivent contenir des vitamines, des minéraux et des glucides. Dans l'idéal, les vitamines présentes dans les barres seront les vitamines E, C, B1 et B3, tandis que les minéraux apportés devront être le zinc, le magnésium et le sodium (**Compléments aliments pour la musculation, consulté 2021**)

Elle doit contenir au minimum 20 g de glucides de qualité, 50 mg de sodium, 300 mg de potassium, 56 mg de magnésium, au moins deux vitamines du groupe B, des antioxydants, et des BCAA (Acides aminés ramifiés- Leucine/Valine/Isoleucine) (**KINJAO, 07 avril 2016**).

Certains aliments se retrouveront alors dans la composition des barres énergétiques, de manière à combler le besoin en nutriments des sportifs avant et pendant leurs efforts. La barre énergétique doit par nature être un encas sain et ne doit donc pas contenir de quantités importantes d'acides gras saturés ou de sucre raffiné. Ces aliments sont le plus souvent les oléagineux, les céréales et les fruits. On pourra aussi y trouver du sirop d'agave, de la poudre d'amande, des protéines de soja, de riz ou de lait, ainsi que des dattes et quelques autres aliments similaires (**Natura Force, Consulté 2021**).

*Chapitre* | *II*

---

*Les Matières premières*

---

|

***Chapitre II : Les matières premières***

---

*Ce chapitre apporte des généralités et la composition des matières premières que nous avons choisis d'intégrer dans nos formulations.*

---

**6 Les matières premières**

**L'avoine**

**6.1.1 Description botanique**

L'avoine est une plante glabre annuelle avec un système racinaire très développé. Les tiges sont en général moins rigides que celles du blé, aussi l'avoine craint davantage l'averse. Les feuilles sont en forme de ruban et engainant autour de la tige, près de leur insertion, elles possèdent une ligule blanchâtre qui permet de distinguer l'avoine en herbe des autres céréales. L'inflorescence est une grappe d'épillets appelés panicule, la disposition des épillets sur l'axe de l'inflorescence permet de distinguer deux catégories de variétés à panicule et à grappes. Les épillets contiennent chacun 2 ou 3 fleurs dont la dernière avorte généralement. A la maturité, nous n'avons que deux grains dans l'épillet. Les glumes enveloppent le grain et constituent au battage les balles. La glumelle reste attachée au grain et porte généralement une barbe. La fleur ressemble à celle du blé, la fécondation se fait avant l'ouverture des glumes, elle est directe, en sorte que les croisements entre variétés sont peu à craindre.

Le grain est un akène, il renferme une graine, les enveloppes peuvent se détacher de l'amande, ce qui ne se produit pas dans le blé. L'avoine peut s'alimenter même dans les sols pauvres.

C'est la céréale qui tire la meilleure partie des ressources du sol et qui résiste le mieux à la sécheresse, aussi, nous pouvons la cultiver en terrains médiocres, en terrains défrichés et en sol d'assolement (**Damerdji, 2016**).



**Figure 1:** Photographie de l'avoine (graines et poudre) (Anonyme, 2021)

### 6.1.2 Apports nutritionnels

**Tableau 5:**Composition de 100 g d'avoine (Le Comité scientifique de laNutrition.fr, consulté 2021)

100 g d'avoine (g)	Vitamines (mg)	Eléments minéraux (mg),
<b>Protéines 16,89</b>	B <sub>1</sub> 0,763	Calcium 54
<b>Glucides 66,27</b>	B <sub>2</sub> 0,139	Fer 4,72
<b>Lipides 6,9</b>	B <sub>3</sub> 4,861	Magnésium 177
<b>Cendres 1,72</b>	B <sub>5</sub> 1,349	Phosphore 523
<b>Eau 8,22</b>	B <sub>6</sub> 0,119	Potassium 429
<b>Fibres 10,6</b>	Sodium 2	Zinc 3,97
		Cuivre 0,626
		Manganèse 4,916

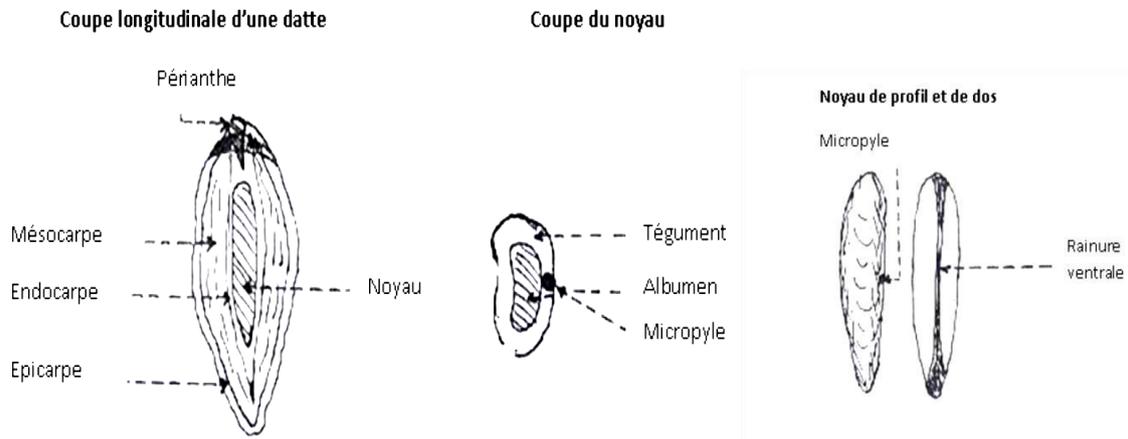
## Les Dattes

### 6.1.3 Description botanique

La dattes est le fruit du palmier dattier, généralement de forme allongée, ou arrondie, elle est composée d'un noyau ayant une consistance dure, entouré de chair. La partie comestible de la dattes, dite chair ou pulpe, est constituée de :

- Un péricarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau.
- Un mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon sa teneur en sucre et est de couleur soutenue.
- Un endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant le noyau (Espiard, 2002).

Les dimensions de la datte sont très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 g selon les variétés. Leur couleur va du blanc jaunâtre au noir en passant par les couleurs ambre, rouges, brunes plus ou moins foncées (**Djerbi, 1994**).



**Figure 2:** Schéma d'une datte et de son noyau (**Buelguedj, 2001**)

#### **6.1.4 Composition de la datte**

La datte constitue un excellent aliment, de grande valeur nutritive et énergétique décrite. Selon **Toutain (1979)** et **Gilles (2000)** de par leur forte teneur en sucres qui leur confèrent une grande valeur énergétique. Ils ont aussi une teneur intéressante en sucres réducteurs facilement assimilables par l'organisme et des protéines équilibrées qualitativement.

De plus, les dattes sont riches en minéraux plastiques tels que Ca, Mg, P, S et en minéraux catalytiques comme Fe et Mn. Elles sont reminéralisantes et renforcent notablement le système immunitaire (**Albert, 1998**).

Le profil vitaminique de la datte se caractérise par des teneurs appréciables en vitamines du groupe B. Ce complexe vitaminique participe au métabolisme des glucides, des lipides et des protéines (**Tortora and Anagnostakos, 1987**).

#### **6.1.5 La farine de datte**

Les farines des dattes peuvent être produites uniquement à partir des variétés sèches ou susceptible de l'être après dessiccation jusqu'à une humidité de 5 %. Ces farines ou semoule peuvent être consommées telles quelles ou servir à la fabrication des biscuits, pains

et gâteaux. Les variétés algériennes qui conviennent mieux pour la production de la farine et de semoules sont principalement Mech-Degla, Degla-Beida.

Les processus de la fabrication de farine de datte passent par : Le nettoyage à sec, le dénoyautage puis le séchage à 70°C. Ensuite un broyage et un tamisage sont nécessaires. Ainsi, on obtient trois produits : farine, semoule blanche et semoule vêtues (**Acourene, 1998**).

### 6.1.6 Apports nutritionnels

**Tableau 6:** Composition de 100 g de datte sèche (**WOFAGroup, 10/08/2020**)

100 g de dattes (g)	Vitamines	Eléments minéraux (mg)
<b>Protéines 2,7</b>	C 1,5 mg	Potassium 750
<b>Glucides 62,5</b>	A 30 µg	Magnésium 47,2
<b>Lipide 0,4</b>	B <sub>9</sub> 34µg	Calcium 44,9
<b>Sucres 58,1</b>		Sodium 18,2
<b>Fibres 8</b>		Fer 2,7
<b>Eau 23,5</b>		

## La caroube

### 6.1.7 Description botanique

Le mot «**caroubier**» vient de l'arabe «**El kharroube** ». Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua L.* dérive du grec Keras (corne) et du latin siliqua désignant une silique ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme du fruit (**Battle and Tous, 1997; Berrougui, 2007**). Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des légumineuses, ordre des Rosales, sous famille des Caesalpinioideae (**Quezel and Santa, 1963**).

Le caroubier possède une cime très étalée et un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 m de circonférence et pouvant atteindre une hauteur de 15 m (**Rejeb, 1995**), avec un feuillage persistant, dense et brillant. Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune, brune et rugueuse à l'âge adulte. Son bois de couleur rougeâtre est très dur (**Ait Chitt et al., 2007**).

### 6.1.8 Feuille

Les feuilles de caroubier sont composées, persistantes, vertes, luisantes sur la face dorsale, plus claires et mates sur la face ventrale, à folioles ovales entières légèrement

échancrées au sommet, paripennée (**Rejeb, 1995**). Les feuilles persistantes, de 10 à 20 cm de long, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant 8 à 15 folioles opposées, de 3 à 7 cm (**Ait Chitt et al., 2007; Sbay and Abourouh, 2006**). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne mais seulement en juillet tous les deux ans, ces dernières sont partiellement renouvelées au printemps (mars - avril) (**Gharnit et al., 2006**).

### **6.1.9 Fleur**

Le caroubier est un arbre dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque. Elles sont initialement bisexuelles habituellement mais unisexuées au cours du développement floral (**Battle and Tous, 1997; Konate, 2007**). Il figure parmi les rares arbres qui fleurissent en automne (septembre à novembre) à partir de sa sixième année. L'inflorescence femelle consiste en un pistil cylindrique de 6 à 12 mm de long, sur lequel sont disposées en spirale 17 à 20 fleurs brunâtres, unisexuées. L'ovaire est composé de deux carpelles de 5 à 7 mm de long contenant plusieurs ovules. L'inflorescence mâle, consiste en un disque nectarifère volumineux entouré de 5 étamines (**Albanell, 1990 ; Sbay, 2008**).

### **6.1.10 Fruits**

Les gousses ou caroubes, dont le développement est très long (10 à 11 mois), sont indéhiscentes, de 10 à 30 cm de longueur sur 1,5 à 3 cm de largeur, pendantes. D'abord vertes en novembre-décembre, elles deviennent brun foncé en juillet de l'année suivante lorsqu'elles sont à maturité (**Battle and Tous, 1997**). Chaque caroube pèse une quinzaine de grammes, contient de la pulpe charnue (80 à 90 %) et 10 à 15 graines (10 à 20 %) dures, imperméables, d'un beau brun foncé, brillantes et de poids régulier (**Ait Chitt et al., 2007; Melgarejo and Salazar, 2003**). Les différents constituants de la graine sont : les téguments (30 à 33 %), l'endosperme (42 à 46 %) et l'embryon (23 à 25 %) (**Ait Chitt et al., 2007; Albanell, 1990 ; Sbay, 2008**).

### **6.1.11 Apports nutritionnels**

**Tableau 7:**Composition de 100 g de caroube (Yazio, 2021)

100 g de caroube (g)	Vitamines (mg)	Eléments minéraux (mg)
<b>Protéine 8,2</b>	B <sub>1</sub> 0, 1	Calcium 303,0
<b>Glucides 56,3</b>	B <sub>2</sub> 0, 2	Cuivre 0,2
<b>Lipides 31,4</b>	B <sub>3</sub> 1, 0	Fer 1,3
<b>Sucre 34,1</b>	B <sub>5</sub> 0, 80	Magnésium 36,0
<b>Fibre 3,8</b>	B <sub>6</sub> 0, 1	Manganèse 0,1
<b>Eau 1,5</b>	B <sub>11</sub> < 0,1	Phosphore 126,0
<b>Cholesterol 10<sup>-3</sup></b>	B <sub>12</sub> < 0,1	Potassium 633,0
	C 0,5	Zinc 3,50
	E 1,6	Selenium < 0,1
	K < 0,1	Sodium 0,1

## Graine de sésame

### 6.1.12 Description botanique

Les sésames, connu sous le nom botanique de *Sesamum indicum*, est une plante annuelle à tige quadrangulaire, dont la hauteur varie de 60 à 200 cm selon les variétés. Elle appartient à la famille des Pédaliaceae. Les fleurs sont blanches ou roses en forme de dé à coudre, indistinctement bilabiées avec les bords recourbés, les feuilles différant énormément d'une variété à l'autre. La capsule quadrangulaire du fruit est d'environ 2 cm avec déhiscence à partir du sommet (Bruneton, 2016).



**Figure 3:** Présentation de la plante de sésame (wikipédia, Mars 2021)

Les nombreuses graines qu'elle contient sont d'un blanc crème à presque noires, et comme suit (Dimanche, 1998):

- Graines blanches.

- Graines crème.
- Graines brun clair.
- Graines brun foncé.
- Graines noires.

Les graines bigarrées correspondent à un mélange de plusieurs couleurs. Sur le marché international, deux classes de produits ont distinguées : les graines non décortiquées, dite natures et les graines décortiquées blanchies.

### **6.1.13 Composition de la graine de sésame**

La graine de sésame est d'une extrême richesse : elle renferme 20 à 22 % de protéines de très haute qualité (les mêmes acides aminés de base que les protéines animales), 48 à 52 % de corps gras et une forte proportion de minéraux et d'oligo-éléments précieux : calcium (Ca), phosphore (P), fer (Fe), magnésium (Mg), silice (Si), aluminium (Al), chrome (Cr), nickel (Ni), cuivre (Cu) et sélénium (Se) ainsi que la quasi-totalité des vitamines du complexe B, E (**Lyon, 1972**).

Les graines de sésame contiennent trois fois plus de calcium qu'une mesure comparable de lait. Les Européens utilisent son huile en substitution de l'huile d'olive.

### **6.1.14 Apports nutritionnels**

**Tableau 8:** Composition de 100 g de graine de sésame (**Informations nutritionnelles, 2013** )

<b>100 g de graine de sésame (g)</b>	<b>Vitamines (µg)</b>	<b>Eléments minéraux (mg)</b>
<b>Glucide 9,28</b>	A 5	Magnésium 324
<b>Lipide 56,4</b>	B <sub>1</sub> 0,791	Phosphore 604
<b>Fibre 7,9</b>	B <sub>2</sub> 0,247	Potassium 468
<b>Eau 4,24</b>	B <sub>3</sub> 4,52	Calcium 962
<b>Sodium 2,31</b>	B <sub>5</sub> 0,05	Manganèse 1,23
	B <sub>6</sub> 0,79	Fer 14,6
	B <sub>9</sub> 97	Cuivre 1,58
		Zinc 5,74
		Sélénium 51,9 µg
		Iode 5 µg

### **Le beurre de cacao**

Il est obtenu par l'application de fortes pressions, dans des presses hydrauliques, sur la pâte de cacao portée à une température de 100°C (**Hill and Heaton-Brown, 1994**). C'est une matière fluide à l'arôme prononcé qui une fois filtré est totalement limpide.

Il est ensuite éventuellement neutralisé, raffiné, décoloré et désodorisé. Puis il doit être refroidi et moulé. Il est alors entreposé dans des locaux climatisés en attendant le moment d'être fondu. En effet, il interviendra ultérieurement dans la fabrication de chocolat. Il peut être aussi employé dans l'industrie des cosmétiques, de la confiserie(**Girard, 1984**).



**Figure 4:** Le beurre de cacao (**Anonyme, 2018**).

*Chapitre* | *III*

---

*Habitudes alimentaires et méthode de  
formulation*

---

***Chapitre III : Habitudes alimentaires et méthode de formulation***

---

*Ce chapitre apporte l'évolution de la culture alimentaire les dix dernières années et les méthodes utilisées pour la formulation d'aliment en agroalimentaire*

---

## **7 L'évolution alimentaire**

### **Habitudes alimentaire ces dix dernières années (2010-2020)**

Les habitudes alimentaires varient considérablement d'un pays à l'autre, d'un continent à l'autre. L'alimentation asiatique, africaine, américaine et l'alimentation européenne sont fondamentalement différentes. Elle est déterminée par le modèle alimentaire qui est à la fois marqué par :

Le choix des aliments consommés, les techniques culinaires utilisées, l'ensemble des pratiques sociales autour de l'alimentation, l'attitude de la population face à l'alimentation, les pratiques et autres habitudes alimentaires (nombre et heures des repas, composition des repas, etc. **(Ooreka, consulté 2021)**).

Au cours de ces dernières années les habitudes alimentaires ont beaucoup plus changé. De nouveaux aliments ont été introduits, d'autres ont pratiquement disparu de la composition des repas. Ces profondes modifications comportent, sur le plan nutritionnel et sur le plan de la santé, des aspects positifs et d'autres négatifs, des avantages et des inconvénients pour la santé.

De 2010 à 2020 un nouveau consommateur est né influencé par des facteurs sociologiques, technologiques, économiques, changement des goûts des consommateurs et des modes de consommation :

#### **7.1.1 Les changements sociologiques**

Le développement du travail des femmes, la fréquence des familles monoparentales, la décohabitation des générations et les grands phénomènes d'urbanisation, les horaires du travail ont également contribué à bouleverser les habitudes et les comportements alimentaires. La forte proportion de femmes actives constitue un élément important dans l'évolution des habitudes alimentaires, dans la mesure où les

femmes, ont non seulement moins de temps pour préparer les repas, mais aussi moins besoin de la valorisation sociale liée à ce rôle. Donc les repas se prennent de plus en plus à l'extérieur et l'accès à la restauration rapide ; basée sur des aliments issus de l'agro-industrie (ultra transformés) trop riche en lipide, sel et sucre et trop pauvre en fruits et légumes frais.

### **7.1.2 Les changements technologie**

Les progrès technologiques ont été particulièrement spectaculaires dans toutes les étapes de la chaîne agro-alimentaire jusqu'à la mise sur le marché des produits : production, conservation, commercialisation, distribution, etc. Quelques exemples illustrent les progrès accomplis : Un poulet est aujourd'hui commercialisable en 8 à 9 semaines alors que traditionnellement, il était mis sur le marché à 5 ou 6 mois. Les techniques de stérilisation à haute température, la surgélation, la lyophilisation ont amélioré les durées de conservation et favorisé la disponibilité des produits en tous lieux et en toutes saisons. Les modes de préparation familiale ont eux aussi évolué, avec notamment le développement des produits surgelés et de l'usage du four à micro-ondes.

### **7.1.3 Les changements des goûts des consommateurs**

La modification des goûts des consommateurs :

- La plupart des gens ont des apports excessifs en sodium à cause de la consommation de sel (en moyenne 9 g à 12 g de sel par jour) il provient des aliments transformés comme les plats préparés, les viandes transformées et les fromages.
- La consommation excessive des aliments à forte teneur en sucre surtout les boissons sucrées.
- De nombreux aliments venant du bout du monde (kiwis, avocats, etc.) et de nouvelles cultures culinaires (plats exotiques) ont été largement introduits et se sont intégrés dans les modèles alimentaires traditionnels.
- A l'inverse, certains aliments consommés traditionnellement depuis plusieurs siècles ont complètement disparu au cours des dernières décennies.

### **7.1.4 Les changements des modes de consommation**

Le changement des modes de consommation a été très important au cours des dernières décennies, notamment :

- le développement de la restauration collective qui a connu un remarquable essor depuis 1955. Au début des années 1990, plus de 5 milliards de repas étaient servis chaque année en restauration collective.
- la consommation du bio a connu une augmentation, la vente des magasins bio spécialisés croit, en France le marché du bio a triplé passant de 3,1 milliards d'euros en 2009 à 9,7 milliards en 2018 (le cahier des charges des producteurs), et l'apparition des produits (zéro), et produits (sans) ; sans conservateur- sans OGM, sans antibiotique, sans huile hydrogénée, sans pesticide, etc.
- fractionnement de la prise alimentaire, la montée du grignotage et dé ritualisation des repas (**Poulain, 2002**).

### **Le comportement des consommateurs en 2020**

Durant la crise du coronavirus les consommateurs adoptent des comportements inhabituels et plus rationnels (**Chikhi, 2021**), La propagation de la pandémie dans le monde a bousculé, de manière inédite, les habitudes de consommation et les comportements alimentaires des gens.

Les consommateurs ont profité du confinement pour se remettre aux fourneaux et pour prendre soin de leur alimentation en cuisinant des repas équilibrés avec des produits de qualité, locaux et de saison. Ainsi, les achats de produits bruts et bios sont plus importants et valorisés par le « fait-maison ».

La pandémie a conduit donc de nombreuses personnes à réinterroger leur régime alimentaire et leur mode de consommation ; et donc manger plus sain, plus naturel, moins mondialisé. La santé est devenue l'obsession quotidienne de chacun et forcément le consommateur devenu responsable et durable (Chikhi, 2021).

## **8 Formulation d'aliment**

Une formulation d'aliments est un calcul qui permet de décider de la proportion à utiliser de chaque ingrédient afin de composer un aliment équilibré. L'objectif général de la formulation est de mélanger des ingrédients de qualités nutritionnelles différentes de façon à obtenir un aliment ayant de bonnes proportions sur le plan nutritif.

Beaucoup de fabricants d'aliments utilisent la méthode du "moindre coût", grâce à laquelle les ingrédients d'un aliment peuvent régulièrement changer en fonction de leur

disponibilité et de leur prix, tout en maintenant constant la formulation finale de l'aliment (en termes de pourcentage et de qualité des protéines, graisses, etc.).

Et pour la réussite de la formulation, la détermination des besoins en plusieurs éléments nutritifs essentiels est donc primordiale par la réalisation d'une base de données sur la composition chimique, les caractéristique physiques et la digestibilité des ingrédients utilisables en alimentation (**Kaushik, 2000**).

### **Les Méthodes utilisées pour la Formulation en agroalimentaire**

#### **8.1.1 Méthodes Manuelles**

Les méthodes manuelles permettent de faire une formulation avec peu d'ingrédients :

##### *8.1.1.1 Méthode carré de Pearson*

C'est une méthode qui détermine la proportion de deux ingrédients à mélanger pour satisfaire le besoin d'un nutriment (**Rosshairy et al., 2010**). Elle s'effectue avec le carré de Pearson. Elle est relativement simple (**Olusayo et al., 2013**).

Les limites de cette méthode résident dans le fait qu'elle utilise seulement deux ingrédients pour déterminer un seul besoin (**Afolayan and Afolayan, 2008**). Elle ne peut pas être utilisée dans des formulations avec plusieurs besoins à satisfaire (**Rosshairy et al., 2010**).

On rapporte au centre d'un carré le pourcentage désiré d'un élément Y, et dans les deux coins gauches, le pourcentage de l'élément Y recherché dans chacune des matières. Pour calculer le nombre des parties de chaque matière à utiliser, on soustrait suivant les diagonales du carré, la plus petite valeur Y de la plus grande. Pour que cette méthode donne un résultat faisable, il faut que l'une des matières premières ait une concentration de l'élément recherché au moins égale celle du mélange envisagé.

Il n'est pas aisé de formuler un aliment complet par cette méthode qui ne prend qu'un seul élément par itération de mélange.

##### *8.1.1.2 Méthode d'équations algébriques simultanées*

C'est une méthode alternative à celle du carré de Pearson en utilisant une équation algébrique simple (**Afolayan and Afolayan, 2008**). Elle permet de satisfaire un besoin

nutritionnel en faisant la combinaison de deux ingrédients (**Olusayo et al., 2013**) à travers un Système d'équation (**Lee, 2009**).

Si l'on dispose de n matières premières ( $M_1, M_2 \dots M_n$ ) quels seront leurs taux d'incorporation ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) de façon à satisfaire simultanément plusieurs objectifs que l'on désigne par contrainte, comme le respect des divers principes nutritionnels ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ) La solution dans ce cas est une combinaison des différentes matières premières qui permet d'avoir exactement dans le mélange des proportions  $X_i$  les valeurs des contraintes fixées.

Pour s'y faire, on définit, pour chaque contrainte, une somme des concentrations relatives en élément recherché sous les formes canoniques ci-après :

$$\sum Y_{ij} X_i \geq Y_{mj} \text{ ou } \sum Y_{ij} X_i \leq Y_{mj}$$

Avec  $Y_{ij}$  la concentration absolue de la contrainte j dans  $X_i$  partie de matière  $M_i$

Pour toutes les contraintes réunies, on aura un système d'inéquations qui doit être, avant toute résolution, simulé à un système d'équation linéaire.

Cette méthode ne permet pas d'affirmer avec certitude que c'est la formule proposée qui est celle qui minimise au plus les coûts.

#### *8.1.1.3 Méthode matricielle*

Cette méthode permet de trouver la solution conduisant à couvrir deux besoins nutritionnels avec deux ingrédients (**Olusayo et al., 2013**). Elle peut être même utilisée pour plusieurs besoins avec plus de deux ingrédients (**Afolayan and Afolayan, 2008**). C'est une méthode efficace permettant de définir le niveau énergétique désiré et d'autres nutriments avec les équations algébriques (**Rosshairy et al., 2010**). Elle a cependant l'inconvénient d'être complexe et demande beaucoup de temps pour sa résolution si le besoin nutritionnel dépasse deux éléments.

#### *8.1.1.4 Méthode des essais et erreurs*

Cette méthode est la plus populaire ; elle est utilisée pour la formulation des aliments (**Afolayan and Afolayan, 2008**). Elle permet de satisfaire le besoin de l'aliment en manipulant les valeurs nutritives des ingrédients en fonction des pourcentages fixés (**Olusayo et al., 2013**). Elle peut se faire manuellement ou en utilisant les tableurs de

calcul comme Excel, Lotus123 ou Quattro pro (Rosshairy et al., 2010). Cette méthode permet de satisfaire tous les besoins de l'aliment, mais a l'inconvénient d'être fastidieuse et prend du temps avant d'arriver à une solution satisfaisante (Afolayan and Afolayan, 2008).

### **8.1.2 Méthodes de programmation mathématique**

Les méthodes mathématiques permettent de faire une formulation à moindre coût.

#### *8.1.2.1 Programmation linéaire*

La programmation linéaire est une méthode statistique pour choisir, répartir et évaluer des ressources limitées et plusieurs contraintes afin d'obtenir une fonction algébrique linéaire ; Elle détermine la façon d'avoir un résultat sous la forme d'un système d'équation mathématique (Olorunfemi, 2007). La programmation linéaire fournit une méthode de formulation efficace des aliments. Elle permet de minimiser le coût de l'aliment en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes de l'ingrédient utilisé pour la formulation (Al-Deseit, 2009).

#### *8.1.2.2 Programmation non linéaire*

Les tables de composition chimique des ingrédients ne présentent que les valeurs moyennes des paramètres nutritionnels. Elles ne représentent pas la totalité des échantillons (Pena et al., 2009). Si la programmation linéaire permet d'optimiser une formule alimentaire, elle ne prend pas en compte les variabilités des ingrédients (Guevara, 2004). Ces contraintes sont reconnues par les chercheurs comme un problème pour la formulation des aliments et la programmation non linéaire apparaît comme une solution pouvant résoudre ces variabilités. Elle est plus utilisée pour décrire les interdépendances qui existent entre le niveau d'incorporation d'un ingrédient ou les relations entre les valeurs nutritives d'un aliment (énergie, protéine, calcium, etc.) et les performances induites ou la marge bénéficiaire dégagée sous la forme d'une fonction mathématique (Heydari, 2014). Afrouziyeh et al. (2010); (Afrouziyeh et al., 2011) ont utilisé le solveur d'Excel pour optimiser la production de l'aliment par programmation non linéaire et pour déterminer les relations qui existent entre les paramètres.

#### *8.1.2.3 Programmation multi objective*

La programmation multi objective a été utilisée en 1983 pour résoudre le déséquilibre nutritionnel en alimentation humaine (Rosshairy et al., 2010). En

alimentation animale, la programmation multi objective est utilisée pour prendre en compte la formulation à moindre coût et le déséquilibre nutritionnel des aliments (**Pena et al., 2009**). Le model utilisé en programmation multi objective est comparable à celui de programmation linéaire en tenant en compte le déséquilibre alimentaire (**Rosshairy et al., 2010**). La variation de besoin nutritionnel est modélisée selon (**Zhang and Roush (2002)**) par Où :  $V$  est la variance du nutriment  $j$  dans l'ingrédient  $i$  ;  $X_i$  le pourcentage de l'ingrédient  $i$  dans l'aliment. Quand beaucoup d'ingrédients sont utilisés, certains pourcentages deviennent petits, d'où l'utilisation de la variance des nutriments et du carré des ingrédients (**Zhang and Roush, 2002**). **Zhang and Roush (2002)** ont utilisé la technique de programmation multi objective pour prendre en compte les contraintes liées à la variation du besoin nutritionnel des poulets de chair en trouvant un optimum dans le groupe.

#### *8.1.2.4 Programmation quadratique*

C'est une programmation qui permet de maximiser le profit en utilisant les besoins nutritionnels. Cette méthode permet de choisir la formule alimentaire qui minimise le coût de l'aliment dans une série de formules qui satisfait à toutes les contraintes.

---

---

# *Partie expérimentale*

---

---

---

*Matériels et méthodes*

---

### 9 Préparation du matériel végétal

#### Préparation de la poudre d'avoine

Dans un blender verser une quantité des graines d'avoine. Mixez, faites une pause, mixez, faites une pause et ainsi de suite jusqu'à obtenir une poudre la plus fine possible. Tamisez et conservez la poudre d'avoine à l'abri de la lumière.

#### Préparation de la poudre de datte

##### 9.1.1 Triage et nettoyage

Les dattes «Mech-Degla» doivent être triées entièrement à la main, elles sont nettoyées une par une sous le robinet pour éliminer toutes les impuretés tels que la poussière, qui existaient à la surface de dattes dans le but de ne pas contaminer les opérations ultérieures. Ces dattes nettoyées sont étalées sur un papier absorbant pour libérer l'eau résiduelle à l'air libre, ceci pour garantir une bonne qualité hygiénique de la farine (**Figure 5**).



**Figure 5:** Dattes «Mech-Degla» Triées (Originale)

##### 9.1.2 Dénoyautage

Les dattes sont ensuite dénoyautées manuellement à l'aide d'un couteau ménager (**Figure 6**).



Pulpe de dattes

**Figure 6:** Dattes «Mech-Degla» dénoyautées (Originale)

### 9.1.3 Découpage

Les dattes sont découpées en petits cubes à l'aide des ciseaux ménagé, pour faciliter l'opération de séchage et cela pour augmenter la surface de contact avec l'air sec et favoriser par conséquent une meilleure déshydratation (**Figure 7**).



**Figure 7:** Dattes «Mech-Degla» découpées (Originale)

### 9.1.4 Séchage ou déshydratation

Le séchage des dattes « Mech-Degla » a été réalisé dans un four ménager, mis à une température de 160 °C environ 1h, Cette température a permis d'obtenir une humidité relative de 5 à 6 % de la dattes. A la sortie du four les dattes sont mises à température ambiante pour refroidir ensuite elles sont pesées (**Figure 8**).

Ce séchage permet une conservation des aliments par élimination d'une partie de l'eau présente dans le produit. Il est obtenu par évaporation grâce à la chaleur produite artificiellement dans des conditions contrôlées.



**Figure 8:** Dattes «Mech-Degla» découpées séchées (Originale)

### 9.1.5 Broyage et Tamisage

Le broyage a été réalisé dans un broyeur à épices de type Moulinex. Cette opération est suivie d'un tamisage à l'aide d'un tamis de farine dont le diamètre des mailles est de l'ordre de 0,19 mm à 0,20 mm, permettant une homogénéisation des particules de la farine. Cette dernière est ensuite pesée pour déterminer son rendement (**Figure 9**).



**Figure 9:** Farine de dattes «Mech-Degla» (Originale)

### Préparation de la poudre de caroube

La caroube (*Ceratonia siliqua*) utilisée provient de la région de «*Remchi W de Tlemcen*», récoltée en septembre 2020, Les gousses ont été nettoyées, séchées et séparées de leur graines manuellement par concassage (**Figure 10**), La pulpe subit plusieurs prétraitements, elle est séchée, torréfiée pendant 2 à 3 h à 60°C sous agitation continue, puis broyée à l'aide d'un broyeur électrique, tamisée puis stockée hermétiquement dans des boucaux en verre à l'abri de la lumière, il existe deux types de poudre de caroube,40 et la 35 degré,( en effet le type de caroube ou bien le degré caroube est justifier par rapport au procédé de la torréfaction).



**Figure 10:** Photographie de la poudre de la caroube(Balla cosmétique, 2021)

### Préparation des graines de sésame

Pour donner à ces petites graines une saveur grillée et une texture encore plus croquante, elles sont disposées sur une poêle, et laissées torréfier à sec pendant 10 min. La peau va brunir et se détacher, cette étape permet d'exalter le gout du sésame.

## 10 Résultats de la Programmation linéaire

### Résultats pour la recette A

La programmation mathématique est un problème d'optimisation. Les inconnus  $X$  présentent les différents ingrédients de la formulation.

$X_1$  = Avoine,  $X_2$  = Caroube,  $X_3$  = Poudre de datte,  $X_4$  = Graines de sésame.

#### Microsoft Excel 14.0 Rapport des réponses

Feuille : [barre énergétique.xlsx] Feuil1

Date du rapport : 29/03/2021 19:50:37

Résultat : Le Solveur a trouvé une solution satisfaisant toutes les contraintes et les conditions d'optimisation.

Moteur du solveur Moteur : GRG non linéaire

Heure de la solution : 40,514 secondes.

Itérations : 4 Sous-problèmes : 0

#### Options du solveur

Temps max Illimité, Itérations Illimité, Précision 0,000001, Échelle automatique, Affiché le résultat des itérations

Convergence 0,0001, Taille de la population 100, Valeur de départ aléatoire 0, Dérivées - Transfert, Limites requises

Sous-problèmes max Illimité, Solutions de nombre entier max Illimité, Tolérance des nombres entiers 1%, Résoudre sans les contraintes de nombre entier, Supposé non négatif

#### Cellule objectif (Valeur)

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale
\$F\$6		0	98,000001

#### Cellules variables

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale	Entier
\$B\$4	X1	0	25,4140871	Entier
\$C\$4	X2	0	5,274690033	Entier
\$D\$4	X3	0	34,3676715	Entier
\$E\$4	X4	0	32,94355236	Entier

#### Contraintes

Cellule	Nom	Valeur de la cellule	Formule	État
\$F\$10	glucide	43,99999995	\$F\$10<=\$G\$10	Lié
\$F\$11	Fibre	10,36804823	\$F\$11<=\$G\$11	Non lié
\$F\$12	lipides	22,00000002	\$F\$12<=\$G\$12	Lié
\$F\$9	Protéine	11,70323958	\$F\$9<=\$G\$9	Non lié
\$F\$6		98,000001	\$F\$6=98	Lié
\$B\$4	X1	25,4140871	\$B\$4>=0	Non lié
\$C\$4	X2	5,274690033	\$C\$4>=0	Non lié
\$D\$4	X3	34,3676715	\$D\$4>=0	Non lié
\$E\$4	X4	32,94355236	\$E\$4>=0	Non lié

Résultats pour la Recette B

Microsoft Excel 14.0 Rapport des réponses  
 Feuille : [barre énergétique II.xlsx] Feuil1  
 Date du rapport : 29/03/2021 20:12:00  
 Résultat : Solveur arrêté à la demande de l'utilisateur  
 Moteur du solveur  
 Options du solveur

Cellule objectif (Valeur)

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale
\$F\$6		0	98

Cellules variables

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale	Entier
\$B\$4:\$E\$4				

Contraintes

Cellule	Nom	Valeur de la cellule	Formule	État	Marge
\$F\$10	Glucide	42,9992	\$F\$10<=\$G\$10	Non lié	1,0008
\$F\$11	Fibre	10,384	\$F\$11<=\$G\$11	Non lié	5,616
\$F\$12	Lipides	22	\$F\$12<=\$G\$12	Lié	0
\$F\$9	Protéine	11,104	\$F\$9<=\$G\$9	Non lié	4,896
\$F\$6		98	\$F\$6=98	Lié	0
\$B\$4	X1	20	\$B\$4>=0	Non lié	20
\$C\$4	X2	3	\$C\$4>=0	Non lié	3
\$D\$4	X3	40	\$D\$4>=0	Non lié	40
\$E\$4	X4	35	\$E\$4>=0	Non lié	35

Figure 11: Deux fiches de programmation linéaire de deux différentes barres énergétiques

### 11 Choix de ces produits

Le choix de ces produits (**Figure 12**) (Avoine, poudre de datte, caroube, graine de sésame) est justifié par leurs valeurs nutritionnelles et leur disponibilité dans notre pays.



**Figure 12:** Les produits utilisés "avoine, poudre de datte, caroube et graines de sésame" (Originale)

### 12 Les Différents types de préparation

#### Préparation du beurre de cacao fondu

Mettre le beurre de cacao (BC) dans une boîte bien fermée, faire fondre au bain-marie à température 40°C, laisser redescendre la température jusqu'à 35°C, le BC fige à nouveau légèrement. Remettre le BC au bain-marie juste pour le liquéfier à nouveau, placer un bécher de 50 ml sur une balance, ensuite régler la balance au zéro, verser une quantité de BC fondu.

#### Préparation d'un mélange de 100 g des ingrédients secs

Préparer un mélange (M) (**Figure 13**) de 25g pour ne pas gaspiller la matière première. Dans une boîte pesez les produits suivants :



**Figure 13:** Mélange des produits utilisés (Originale).

**Tableau 9:** La quantité d'une préparation de 100 g pour les deux recettes.

Première recette	Deuxième recette
<b>Avoine : 25 g</b>	<b>Avoine : 20 g</b>
<b>Caroube : 5 g</b>	<b>Caroube : 3 g</b>
<b>Poudre de datte : 34 g</b>	<b>Poudre de datte : 40 g</b>
<b>Graine de sésame : 33 g</b>	<b>Graine de sésame : 35g</b>

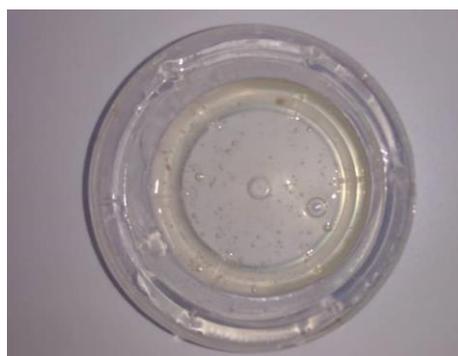
**Remarque :** La balance utilisée est de précision de ( $\pm 0,01$ ), il faut tarer à chaque fois pour chaque mesure (réglé la balance au zéro).

### L'émulsifiant polyricinoléate de polyglycérol « PGPR »

PGPR est un liquide visqueux jaune (**Figure 14**), insoluble dans l'eau froide et l'éthanol, soluble dans la graisse chaude, c'est un émulsifiant eau-huile non ionique (E/H). Utilisé dans le chocolat, en petite quantité, peut considérablement améliorer la mobilité des produits à base de chocolat et économiser la quantité de beurre de cacao. Aussi il accélère le processus de remplissage de moules

Utilisé avec la lécithine, à un bon effet synergique, amincissant l'épaisseur du revêtement de chocolat pour le rendre facile à traiter.

Dans des conditions humides, peut réduire la viscosité. Et forme rapidement le sucre dans le chocolat. Et accélérer sa conglutination. Et augmenter l'adhésion, réduisant les petits pores (**Zhengzhou Yizeli Industrial Co, Nov 19, 2018**).



**Figure 14:** L'émulsifiant PGPR (Originale)

Le diagramme **Figure 15** montre toutes les préparations et les étapes de fabrication des barres énergétiques, les proportions vont respecter les résultats des mélanges données par la programmation linéaire.

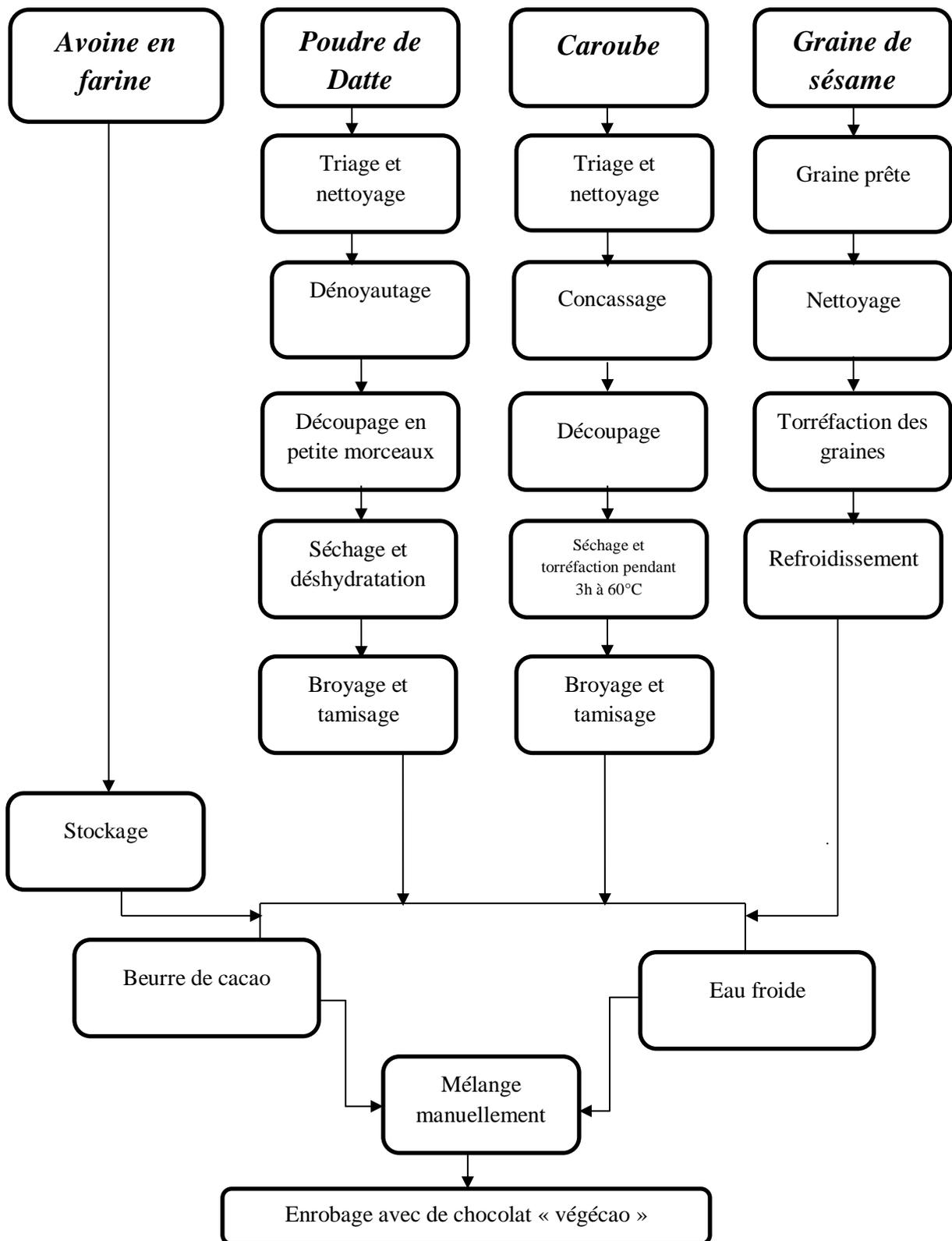


Figure 15: Diagramme de fabrication des barres énergétiques

## 13 Les Différents méthodes

### Méthode de moulage et de démoulage

Avant le remplissage mettre le moule dans un autoclave .A l'aide d'une cuillère en inox remplir le moule avec du mélange, frapper le moule plusieurs fois sur le plan de travail afin de libérer les bulles d'air et égaliser la surface, si le mélange déborde enlever sur place à l'aide d'une raclette et placer au réfrigérateur pour le démoulage.

Déposer le moule à l'envers au-dessus d'un papier film alimentaire et tapoter encore, récupérer les morceaux du chocolat « végécao » et conserver dans une boîte bien fermée.

### Méthode de trempage des échantillons

A l'aide d'une fourchette, tremper les petits morceaux, refroidis dans un bain de chocolat « végécao », secouer délicatement la fourchette sur le côté pour enlever l'excès. Conserver dans le réfrigérateur. **(Figure 16)**



**Figure 16 :** Les barres enrobées de végécao (Originale)

### Méthode d'enrobage

Sur un grillage, déposer les BE (s) **(Figure 17)** horizontalement, verser délicatement du chocolat « végécao », et de temps en temps tapoter la grille sur le plan de travail pour que le chocolat« végécao »se répartisse sur une couche fine et que l'excès se déborde.



**Figure 17:** Des barres énergétiques sans enrobage (Originale)

### 14 Essais de formulations

#### Méthode de ramassage des ingrédients secs avec du chocolat « végécao »

Sur une balance de précision ( $\pm 0,2$ ), pesez environ 100 g de Mélange (M) et verser du chocolat « végécao » fondu délicatement, mélanger le tout avec une spatule jusqu'à l'optimisation d'un mélange homogène. Il est noté qu'une quantité de 100 g de mélange consomme 266,6 g de chocolat « végécao ». Enfin, mettre ce mélange dans un moule à refroidir et démouler après prise (**Figure 18**).



**Figure 18:** Barre énergétique sans émulsifiant (Originale)

#### Choix de la poudre de caroube (degré 45 ou bien 30)

Sur une balance de précision ( $\pm 0,2$ ), pesez environ 5g de Mélange et 95g de chocolat « végécao », mélanger le tout avec une spatule jusqu'à l'obtention d'un M homogène. Utiliser la caroube 45 ensuite la caroube 30 degré. Mettre ce mélange dans un moule puis démouler.

Le constat est que le poids de M de ces produits secs est très petit par rapport au poids de chocolat « végécao ». Pour l'échantillon qui est préparée avec la caroube 45 il est plus amer que l'échantillon de caroube 30. (**Figure 19**)



**Figure 19:** Des échantillons pour choisir la caroube (Originale)

Avec cette méthode de ramassage, les deux préparations sont considérées comme du chocolat « végécao amélioré », ce qui n'est pas le but de ce travail, l'objectif c'est de réaliser une barre diététique 100% bio. L'utilisation de la caroube 45 est ainsi éliminée pour les essais ultérieurs.

### Méthode de ramassage des ingrédients secs avec du beurre de cacao et de l'eau

Utiliser une préparation de 25 g de M sec, ajouter BC et mélanger à l'aide d'une spatule, une fois le BC pénétré dans le M, ajouter la quantité d'eau froide nécessaire pour bien ramasser le M jusqu'à l'obtention d'une pâte molle. Laisser la pâte reposer quelques minutes, pour le gonflement des ingrédients.

Former des boules, poser les boules de pâte dans des petites moules, serrer bien pour obtenir la forme. Mettre les échantillons dans le réfrigérateur, ensuite les tromper dans un bain de chocolat « végécao », (Méthode de trempage), et mettre encore une fois à refroidir.

Déposer le moule à l'envers au-dessus d'un papier film alimentaire et tapoter sur le plan de travail, récupérer les ECH (s) enrobés et conserver dans une boîte bien fermée.

**Tableau 10:** Les différentes quantités de beurre de cacao et d'eau

Quantité de Beurre de cacao	Quantité d'eau	Résultats organoleptiques
✓ 5g	✓ 5g	✓ Goût : mauvaise ✓ Couleur : très foncé (mauvaise couleur) ✓ Pâte : une pâte dure
✓ 10g	✓ 10g	✓ Goût : acceptable ✓ Couleur : claire (belle couleur) ✓ Pâte : pâte malléable

La meilleure quantité de BC et d'eau est choisie comme suit : 10 g d'eau froid et 10 g de beurre de cacao (dans un M de 25 g).

### Optimisation de la quantité de matière d'enrobage

Utiliser une préparation de 100 g, ajouter le BC doucement et mélanger, une fois la matière grasse pénétrée dans le M, ajouter la quantité d'eau froide, ramasser le M jusqu'à l'optimisation d'une pâte. Laisser reposer quelques minutes pour une meilleure cohésion de la pâte.

Dans les essais antécédents, il est noté que les barres consommaient plus de 30 % de chocolat « végécao » pour l'enrobage, ce pourcentage est élevé par rapport au poids générale de la barre, donc en doit ajouter un émulsifiant qui permet de diminuer la viscosité du chocolat « végécao » et ainsi diminuer l'épaisseur de la couche d'enrobage. Pour cela on propose le PGPR comme un émulsifiant.

### Choix de pourcentage de PGPR.

Sur une balance de précision ( $\pm 0,2$ ), mettre une boîte remplie avec du chocolat « végécao », sont poids net est de 983,8 g. Ajouter différentes doses de « PGPR » jusqu'à obtenir une viscosité convenable. Les quantités de PGPR ajoutée ne doit pas dépasser 0,4 % (**Figure 20**).

**Tableau 11:** Les résultats d'utilisation des différents pourcentages de « PGPR » sur la quantité de matière d'enrobage

« PGPR » en %	Poids de chocolat « végécao » dans une barre énergétique (g)
<b>0,10</b>	6,70
<b>0,12</b>	6,30

Le pourcentage de PGPR idéal étant de 0,12%, au-delà le végécao devient trop fluide.



**Figure 20:** Les différentes quantités de PGPR (Originale)

Le poids d'une barre énergétique enrobée est de 26 g, et consacrant son poids net est de 20 g.

## 15 Test de dégustation des préparations BE optimisées

### Lieu et date du test

Ce test est réalisé pendant le mois de Ramadan à « 23h-00h », le : 06- 05 -2021, après un repas principale aux niveaux d'une salle du sport pour homme de « Beni

Amrane » W. Boumerdès, et cité universitaire pour filles de « Corso » W. Boumerdès, laboratoire de l'unité de SARL **kaouaFOOD** « Hammadi » W. Boumerdès, et quelques membre de famille et d'amis. C'est un panel non entraîné et hétérogène.

### L'objectif du test

Il s'agissait de comparer les caractéristiques relatives des trois produits soumis à la dégustation par un test sensoriel (Friedman). Une Barre commerciale « **DATINA** » (**Figure 21**) est comparée aux deux BE fabriquées, à travers l'appréciation de paramètre comme l'apparence, l'odeur, le goût et l'amertume.



**Figure 21:** La barre énergétique commerciale "DATINA"  
(Originale)

### Profil du panel de dégustation

Le panel était composé de 37 personnes, dont **17 Femmes** (17- 63 ans) ; **16 Hommes** : (17- 44 ans) et **04 Enfants** (11-16 ans) (**Tableau 12**).

**Tableau 12:** Tableau des statistiques « catégories sportives, comme Aliment diététique »

	Femmes	Hommes	Enfants
<b>Nombre</b>	17	16	04
<b>Catégories sportives</b>	09	08	01
<b>Comme Aliments diététique</b>	02	04	00

### Déroulements du test

En premier présenter les ECH (s) (échantillon) pour les dégustateurs : il s'agit de trois BE différentes. Expliquer qu'ils sont fabriqués à base des produits naturels, et destinés pour la catégorie des sportifs, mais cela n'empêche pas que d'autre gens peuvent les consommer en cas de besoins énergétiques accrus (effort mentale, examens, etc.). Ces BE pourront être consommées pendant un effort physique ou à un moment adéquat de la journée.

Aussi informer les dégustateurs de la composition de ces BE fabriquées à base d'avoine, poudre de datte, caroube et graines de sésame, et enrobées dans du chocolats

« végécao ». Ensuite disposer les ECH(s) sur une table où les panélistes passent à tour de rôle, dégustent et apprécient les caractéristiques : apparence, odeur, goût et amertume pour chaque produit.

Les ECH(s) sont emballés avec un papier film alimentaire et codés en alphabet :

- **A** : C'est la BE de la première recette.
- **B** : C'est la BE commercialisais« *DATINA* ».
- **C** : C'est la BE de la deuxième recette.

**Remarque** : Le dégustateur doit boire de l'eau entre deux produits. Et doit remplir la fiche de dégustation (**Figure 23**).

### 16 Test de stabilité

Le test de stabilité permet d'observer le développement de bactéries, de levures ou moisissures pour une BE fabriquer prévue pour un stockage à température ambiante et à l'aire libre. Le produit doit être emballé avec un papier film alimentaire, et conservé dans des conditions hygiéniques après sa fabrication.

Ce test permet d'évaluer la stabilité et la DLC (Date Limite de Consommation), des produits fabriqués et les possibilités de traitements ultérieurs.

#### Déroulements du test

Mettre les ECH(s) dans une salle loin de la lumière et d'humidité, suivre les différents changements (changement organoleptique « couleur, odeur, goût » développement microbien « levures et moisissures ». Les résultats ci-dessous résumant le développement organoleptique et microbien d'une BE.

**Tableau 13:** Les différents changements d'une barre énergétique.

Date (par semaine)	Différents changements	
	<i>Organoleptique</i>	<i>Moisissures</i>
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	/	+

La DLC d'une BE est d'un mois, pour cela on propose d'ajouter des additifs alimentaires pour prolonger la durée de conservation (**Figure 22**)



**Figure 22:** Des barres énergétiques moisies après 1 mois (Originale).

## Fiche de Dégustation

Individu N° : .....

Age : .....

Sexe (Homme- Femme-Enfant) : .....

Catégorie sportif : .....

Comme Aliment diététique : .....

	A	B	C
<b>Apparence</b> (المظهر الخارجي)			
<b>Odeur</b> (الرائحة)			
<b>Goût</b> (الذوق)			
<b>Amertume</b> (المرارة)			

### L'échelle :

[1] Très mauvaise سيئة جدا

[3] Mauvaise سيئة

[5] Moyenne متوسطة

[7] Bonne جيدة

[10] Très bonne جيدة جدا

MERCI.

**Figure 23:** Fiche de dégustation.

---

---

## *Résultats et discussion*

---

---

**17 Résultats du test de dégustation**

**Tableau 14:** Tableau des Scores des panélistes

Individus	Apparence			Odeur			Goût			Amertume		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	7	10	7	5	3	7	7	5	10	3	5	5
2	7	7	7	7	7	7	10	10	7	7	7	5
3	10	7	10	7	10	7	5	10	5	5	10	5
4	7	5	10	7	7	3	5	7	3	5	10	3
5	5	5	5	5	7	7	1	7	3	7	7	7
6	7	5	10	7	5	5	7	5	7	5	7	7
7	10	10	10	7	10	5	5	10	5	5	7	10
8	10	10	10	7	10	7	10	10	10	5	10	5
9	10	10	10	10	7	10	5	10	10	5	10	5
10	5	7	7	5	7	5	5	7	5	7	5	7
11	5	7	5	7	7	3	3	10	3	5	10	5
12	5	10	5	5	10	7	3	10	7	3	10	10
13	10	10	10	7	10	7	7	7	10	7	5	10
14	10	10	10	7	10	5	7	10	5	5	10	7
15	10	10	10	7	10	7	7	10	7	5	10	5
16	10	10	10	7	10	7	7	10	10	7	10	10
17	10	7	10	5	10	7	5	5	3	3	10	7
18	7	10	10	7	10	5	7	10	7	5	10	7
19	5	7	10	5	7	10	3	7	7	5	10	10
20	10	10	10	7	10	5	7	10	5	5	10	5
21	10	10	10	10	10	5	10	10	5	5	10	7
22	10	10	10	7	7	7	5	7	5	5	10	10
23	10	10	10	7	10	7	10	10	10	10	10	10
24	7	7	5	5	10	7	5	5	7	7	10	7
25	7	7	7	7	5	10	10	5	10	5	7	10
26	7	7	7	5	5	5	5	5	7	5	7	5
27	5	7	5	7	10	7	5	10	7	1	1	1
28	5	5	5	5	3	3	7	3	1	5	5	5
29	5	5	5	5	7	5	5	3	3	7	3	3
30	5	7	5	5	7	5	7	5	7	5	5	3
31	5	3	3	3	7	3	5	5	3	5	3	3
32	3	5	7	5	7	5	3	5	3	5	5	1
33	5	5	5	5	5	3	5	7	1	7	10	1
34	10	10	10	7	10	7	7	10	10	7	10	10
35	10	10	10	10	10	10	7	10	10	7	10	10
36	10	7	10	10	7	7	10	10	10	7	10	7
37	7	7	7	7	10	1	7	10	7	10	10	10

## RESULTATS ET DISSCUSION

**Tableau 15:** Tableau des classements

Critères Individus	Apparence			Odeur			Goût			Amertume		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	2,5	1	2,5	2	3	1	2	3	1	3	1,5	1,5
2	2	2	2	2	2	2	1,5	1,5	3	1,5	1,5	3
3	1,5	3	1,5	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5
4	2	3	1	1,5	1,5	3	2	1	3	2	1	3
5	2	2	2	3	1,5	1,5	3	1	2	2	2	2
6	2	3	1	1	2,5	2,5	1,5	3	1,5	3	1,5	1,5
7	2	2	2	2	1	3	2,5	1	2,5	3	2	1
8	2	2	2	2,5	1	2,5	2	2	2	2,5	1	2,5
9	2	2	2	2,5	1	2,5	3	1,5	1,5	2,5	1	2,5
10	3	1,5	1,5	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	1,5	3	1,5
11	2,5	1	2,5	1,5	1,5	3	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5
12	2,5	1	2,5	3	1	2	3	1	2	3	1,5	1,5
13	2	2	2	2,5	1	2,5	2,5	2,5	1	2	3	1
14	2	2	2	2	1	3	2	1	3	3	1	2
15	2	2	2	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5
16	2	2	2	2,5	1	2,5	3	1,5	1,5	3	1,5	1,5
17	1,5	3	1,5	3	1	2	1,5	1,5	3	3	1	2
18	3	1,5	1,5	2	1	3	2,5	1	2,5	3	1	2
19	3	2	1	3	2	1	3	1,5	1,5	3	1,5	1,5
20	2	2	2	2	1	3	2	1	3	2,5	1	2,5
21	2	2	2	1,5	1,5	3	1,5	1,5	3	3	1	2
22	2	2	2	2	2	2	2,5	1	2,5	3	1,5	1,5
23	2	2	2	2,5	1	2,5	2	2	2	2	2	2
24	1,5	1,5	3	3	1	2	2,5	2,5	1	2,5	1	2,5
25	2	2	2	2	3	1	1,5	3	1,5	3	2	1
26	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	1	2,5	1	2,5
27	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	3	1	2	2	2	2
28	2	2	2	1	2,5	2,5	1	2	3	2	2	2
29	2	2	2	2,5	1	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	2,5
30	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	1,5	3	1,5	1,5	1,5	3
31	1	2,5	2,5	2,5	1	2,5	1,5	1,5	3	1	2,5	2,5
32	3	2	1	2,5	1	2,5	2,5	1	2,5	1,5	1,5	3
33	2	2	2	1,5	1,5	3	2	1	3	2	1	3
34	2	2	2	2,5	1	2,5	3	1,5	1,5	3	1,5	1,5
35	2	2	2	2	2	2	3	1,5	1,5	3	1,5	1,5
36	1,5	3	1,5	1	2,5	2,5	2	2	2	2,5	1	2,5
37	2	2	2	2	1	3	2,5	1	2,5	2	2	2
<b>R</b>	<b>77,5</b>	<b>73</b>	<b>71,5</b>	<b>81</b>	<b>53</b>	<b>88</b>	<b>82,5</b>	<b>59,5</b>	<b>80</b>	<b>88,5</b>	<b>56,5</b>	<b>77</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>6006,25</b>	<b>5329</b>	<b>5112,25</b>	<b>6561</b>	<b>2809</b>	<b>7744</b>	<b>6806,25</b>	<b>3540,25</b>	<b>6400</b>	<b>7832,25</b>	<b>3192,25</b>	<b>5929</b>

### 18 Test de Friedman

Le test a porté sur quatre critères (apparence, odeur, goût, amertume) et trois produits. Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le test de Friedman basé sur le calcul du critère de Friedman qui sera comparé au critère théorique :

$$F = \frac{12}{n * p * (p+1)} [R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_p^2] - 3 * n * (p+1)$$

Avec : F : Facture de Friedman calculé

n : nombre des sujets (dégustateurs)

p : nombre de produit

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> somme des rangs calculés à partir des scores donnée aux produits par n sujets

La valeur de F doit être comparé à L qui est la statistique du test (valeur théorique).

L : est lue sur la table de  $\chi^2$  à un degré de liberté de (3-1) et une probabilité de 5 %.

- ✓ Si F < L : les produits sont perçus comme étant significativement identiques.
- ✓ Si F > L : les produits sont perçus comme étant significativement différents.

Quand F > L, on poursuit les calculs par la comparaison entre les couples d'échantillons pour déterminer qui sont différents entre eux. Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs, la plus petite différence significative est égale à :

$$\delta = z * \sqrt{n * p * (p + 1) / 6}$$

Avec Z la valeur lue dans la table Gaussienne d'après le calcul de  $\sigma$ , ce dernier est calculé comme suit :

$$\sigma = \frac{2 * \alpha}{p * (p - 1)}$$

- ✓ Si  $|R_i - R_{jt}| > \delta$  les produits i et j sont perçus comme étant significativement différents.
- ✓ Si  $|R_i - R_{jt}| < \delta$  les produits i et j sont perçus comme étant significativement identique.

**Tableau 16:** Tableau des paramètres p, n et L pour notre essai

Nombre de produits « P »	Nombre de sujet « n »	« L » lue sur la table $\chi^2$
<b>3</b>	<b>37</b>	<b>5,99</b>

### Résultats

Les résultats des classements des différents critères étudiés ainsi que la somme des rangs par produit de l'ensemble des sujets ont été déterminé.

**Tableau 17:** Résultats des sommes des rangs et leur carré par produit et par critère

	Apparence			Odeur			Gout			Amertume		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>R</b>	77,5	73	71,5	81	53	88	82,5	59,5	80	88,5	56,5	77
<b>R<sup>2</sup></b>	6006,25	5229	5112,25	6561	2809	7744	6806,25	3540,25	6400	7832,25	3192,25	5929

Le produit le mieux apprécié sera celui avec la somme des rangs la plus petite, ainsi pour les différents critères ça sera comme suit :

- Apparence : (C)
- Odeur : (B)
- Gout : (B)
- Amertume : (B)

**Tableau 18:** Paramètres statistiques pour le test de Friedman

Critères Paramètres	Apparence	Odeur	Goût	Amertume
<b>F</b>	0,082	18,078	8,155	13,744
<b>L</b>	5,99			
<b><math>\alpha</math></b>	0,05			
<b><math>\sigma</math></b>	1,66			
<b>Z</b>	2,12			
<b><math>\delta</math></b>	18,23			

#### 18.1.1 Critère apparence

$$F_{\text{calc}}=0,0825$$

$$F_{\text{calc}} < L_{\text{thé}}$$

Pour le critère apparence les produits sont perçus comme étant significativement identique.

#### 18.1.2 Critère odeur

$$F_{\text{calc}}=18,078$$

$$F_{\text{calc}} > L_{\text{thé}}$$

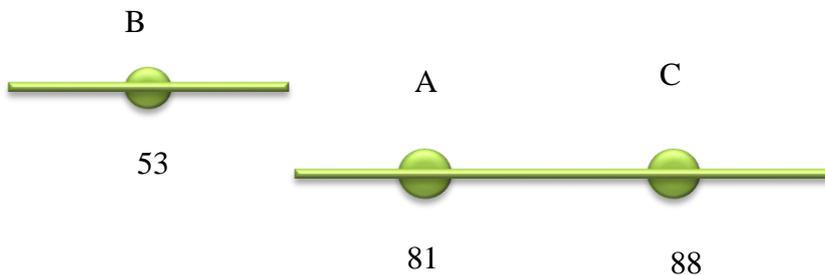
## RESULTATS ET DISSCUSION

Pour le critère odeur,  $F_{\text{calc}} > L_{\text{thé}}$  ça implique que les produits sont perçus comme étant significativement différents. Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

**Tableau 19:** Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « odeur »

$R_i - R_{jt1}$	Valeur	Par rapport à $\delta$	Remarque
$R_A - R_B$	28	>	Significativement différents
$R_A - R_C$	7	<	Significativement identiques
$R_B - R_C$	35	>	Significativement différents

On obtient le classement suivant :



### 18.1.3 Critère Goût

$$F_{\text{calc}} = 8,155$$

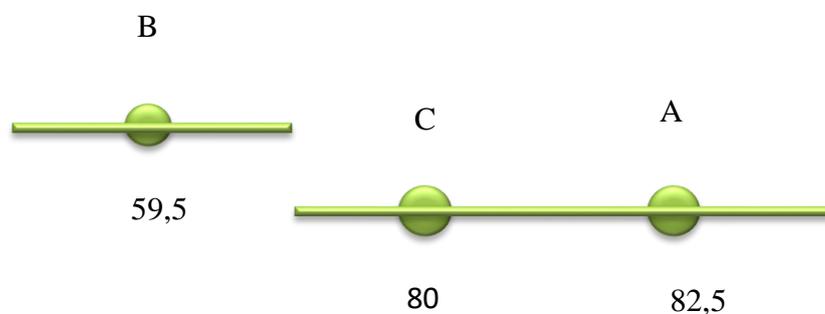
$$F_{\text{calc}} > L_{\text{thé}}$$

Pour le critère goût les produits sont perçus comme étant significativement différents. Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

**Tableau 20:** Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « goût »

$R_i - R_{jt}$	Valeur	Par rapport à $\delta$	Remarque
$R_A - R_B$	23	>	Significativement différents
$R_A - R_C$	2,5	<	Significativement identiques
$R_B - R_C$	20,5	>	Significativement différents

On obtient le classement suivant :



### 18.1.4 Critère amertume

$$F_{\text{calc}} = 13,744$$

$$F_{\text{calc}} > L_{\text{thé}}$$

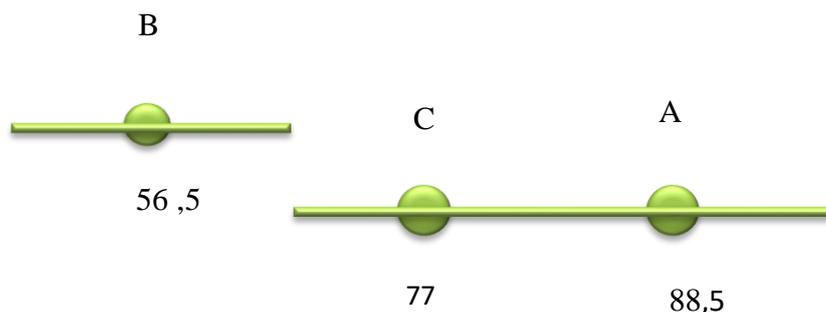
## RESULTATS ET DISSCUSION

Pour le critère amertume les produits sont perçus comme étant significativement différents. Pour cela on effectue un test de comparaison multiple des sommes des rangs.

**Tableau 21:** Résultats de la comparaison des formulations pour le critère « amertume »

$R_i-R_{jt}$	Valeur	Par rapport à $\delta$	Remarque
$R_A-R_B$	32	>	Significativement différents
$R_A-R_C$	11,5	<	Significativement identiques
$R_B-R_C$	20,5	>	Significativement différents

On obtient le classement suivant :



Le produit [B] est perçu comme meilleur du point de vue amertume. Les deux autres sont comparables mais il y a une préférence pour le [C].

Appréciation Générale : le produit commercial est perçu meilleur en tout point de vue que les produits préparés. Mais c'est la préparation [C] qui est jugée meilleure que [A].

### La valeur énergétique pour 100g

- 4 Kcal pour 1g de glucides ou protéines.
- 9 Kcal pour 1 g de lipides.

**Tableau 22 :** Valeurs énergétique de la barre

Première recette		Kcal	Deuxième recette		Kcal	La barre commerciale		Kcal
<b>Protéine</b>	5,55 g	22,2	<b>Protéine</b>	4,71 g	18,84	<b>Protéine</b>	16,24 g	64,96
<b>Glucides</b>	43,69 g	174,76	<b>Glucides</b>	43,19 g	172,76	<b>Glucide</b>	35 g	140
<b>Lipides</b>	22,05 g	198,45	<b>Lipides</b>	22,22 g	199,98	<b>Lipides</b>	21,6 g	194,4
<b>Total (K cal)</b>		395			392			399

---

---

# *Conclusion*

---

---

### Conclusion générale

L'avoine, la caroube, la datte, et la graine de sésame sont décrits comme des végétaux nutritifs, possédant de multiples bienfaits prouvés pour la santé.

L'objectif de ce travail est de valoriser ces quatre produits locaux dans le domaine agroalimentaire en formulant une barre énergétique.

Ce travail vise à appliquer la programmation linéaire pour une formulation à moindre coût et de maîtriser les caractéristiques nutritionnelles d'une formule connue destinée aux sportifs.

Les résultats obtenus ont révélé que :

- ✓ Le mélange de nos produits naturels dans une barre énergétique a été réalisé avec succès.
- ✓ Le test de stabilité effectué sur les barres préparées montre qu'elles restent stables et en bon état : absence de moisissure apparente, pas de changement de goût pendant un mois, et ceci sans additifs.
- ✓ Le test sensoriel portant sur l'évaluation de l'apparence, le goût, l'odeur, l'amertume, et le test statistique des résultats par le test de *Friedman*, nous ont permis de conclure que la formulation B du commerce est la plus appréciée de point de vue goût, odeur et amertume, or que les trois produits sont considérés comme statistiquement identiques de point de vue apparence par les dégustateurs.
- ✓ La valeur énergétique des formulations (395 et 392 Kcal/100g) est équivalente à celle d'une barre commerciale (399 Kcal/100g), avec l'avantage de contenir que des produits locaux, pour la plupart très peu transformés.
- ✓ La PL s'est avérée une très bonne méthode multi-critères.

D'une manière générale, les produits bio sont moins appréciés par les dégustateurs surtout la catégorie jeune entre (20-40 ans), par contre pour la catégorie enfant entre (11-16 ans) les deux produits fabriqués sont appréciés.

En termes de perspective et vue de l'intérêt du consommateur, il serait intéressant de mettre en place un programme de développement des aliments sains.

Il faut sensibiliser les consommateurs en les incitant à changer leurs habitudes nutritionnelles en diminuant le taux de sucre.

En perspectives de cette étude, il serait souhaitable de :

- Remplacer l'eau avec autre produits de liaisons comme : le miel d'abeille, sirop de datte, sirop de glucose.
- Ajouter des additifs pour une longue conservation (les additifs doivent être naturelle pour garder le concept d'un produit diététique).
- Préparer du « végécao » sans sucre ajouté, en remplaçant le sucre par la poudre de datte est cela permettra de diminuer le taux de sucre.
- Trouver des solutions pour l'amélioration de l'amertume et du goût (on peut ajouter des concassés).
- Faire des études économiques sur les coûts de ces produits (avoine caroube poudre de datte et graine de sésame), et exploiter cette étude sur le plan industriel.
- Des analyses physico-chimie sur la matière première et du produit semi fini et le produit fini, devront assurer la qualité hygiénique et de composition du produit, et ceci relève de la responsabilité des producteurs.
- Faire une étude rhéologie pour le « végécao ».

---

---

## *Références bibliographiques*

---

---

*Références bibliographique*

« A »

- Acourene, S. (1998). Synthèse bibliographiques sur la Valorisation de la datte. Science, INA, alger.
- Afolayan, M., and Afolayan, M. (2008). Nigeria Oriented Poultry Feed Formulation Software Requirements. *Journal of Applied Sciences Research* **4**, 1596-1602.
- Afrouziyeh, M., Shivazad, M., Chamani, M., and Dashti, G. (2010). Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 1. . *African Journal of Agricultural Research* **5**, 2770-2777.
- Afrouziyeh, M., Shivazad, M., Chamani, M., Dashti, G., and Amirdahri, S. (2011). Use of nonlinear programming to determine the economically optimal energy density in laying hens diet during phase 2. *Journal of Applied Poultry Research* **20**, 50-55.
- Ait Chitt, M., Belmir, M., and Lazrak, A. (2007). Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. *Transfert de technologie en Agriculture IAV Rabat* **153**, 1-4.
- Al-Deseit, B. (2009). Least-Cost Broiler Ration Formulation Using Linear Programming Technique. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **8**, 1274-1278.
- Albanell, E. (1990 ). Caracterización morfológica, composición química y valornutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España, Barcelona. España.
- Albert, L. (1998). "La santé par les fruits," VEECHI.
- Anonyme (2018). Le beurre de cacao.
- Anonyme (2021). Avoine banque de photos.

« B »

- Balla cosmétique (2021). Caroube en poudre- Complément alimentaire.
- Battle, I., and Tous, J. (1997). "Carob tree *Ceratonia siliqua* L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops," Int Plant Gen Res. Institute, 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research Rome.
- Belaid, D. (2016). Production de flocons d'avoine. *Collection Brochures Agronomiques*, 1-2.
- Berrougui, H. (2007). Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* **5**.
- Blanchet, R., and Boutet, S. (Septembre 2004). Modules de formation sur le dopage sportif : Je performe sans drogue. (A. q. d. m. d. sport, ed.).
- Blandon, j., Cranfield, J., and Henson, S. (2007). Les aliments fonctionnels et les produits de santé naturels – Contextes canadien et international. (d. l. a. e. d. r. Département

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

de l'économie de l'alimentation, ed.), pp. 59. International Food Economy Research Group, Canada.

Boublenza, C. (24/09/2020). In "Le quotidien d'Oran", Algérie.

Boutet, S. (2007 ). Le dopage sportif : bien plus qu'une question de substance: Pour exceller, quoi de mieux Qu'une bonne alimentation? *Le Médecin du Québec* **42**, 63-72.

Bruneton, J. (2016). "Pharmacognosie Phytochimie Plantes Médicinales," Lavoisier.

Buelguedj, M. (2001). " Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du Sud-Est Algérien," INRAA El-Harrach, Alger.

### « C »

Censier, A. (2018). Dossiers Nutrition: Un aliment santé.

Chikhi, K. (2021). L'impact de la crise sanitaire du COVID-19 sur le comportement de consommation des algériens. *REMFON ISSN 2489-205X*, 0-9.

Compléments aliments pour la musculation (consulté 2021). Tout Savoir Sur Les Barres Énergétiques.

### « D »

Damerdji, A. (2016). Diversité orthoptérologique (caelifères) sur deux plantes cultivées: *Avena sativa* L. et *Hordeum vulgare* L. (Poacées) dans la région de Tlemcen, Nord-Ouest Algérien. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.* **28** 418 - 427.

Dimanche, P. (1998). "Sésame," Les Publications du CIRAD, Centre De Coopération Internationale En Recherche Agronomique Pour Le Développement.

Djerbi, M. (1994). "Précis de phoeniciculture," FAO.

### « E »

Espiard, E. (2002). "Introduction à la transformation industrielle des fruits," Tech et Doc-Lavoisier.

Estelle, B. (15 mai 2018). Alimentation du sportif.

### « F »

FAO (2013). Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

### « G »

Gauthier, J., and Ledoux, M. (Mars 2003). Nutrition et supplémentation en présaison. *Équipe de football - Les Carabins de l'Université de Montréal*.

Gharnit, N., El Mtili, N., Ennabili, A., and Sayah, F. (2006). Importance socioéconomique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc). *Rev. Tela Botanica Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France BDNFF* **4.02**.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

Gilles, P. (2000). "Cultiver le palmier dattier," CIRAS, France.

Girard, S. (1984). "Guide du chocolat et de ses à-côtés," Messidor Scandéditions.

Guevara, V. (2004). Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. *Poultry Science* **83**, 147-151.

Guggenbichler, J. (1983). Adherence of enterobacteria in infantile diarrhea and its prevention. *Infection* **Jul-Aug;11**, 239-242.

### « H »

Heydari, S. (2014). Effect of linear and random non-linear Programming feed formulating on performance of broilers. *Journal of Novel Applied Sciences* **3**, 1426-1429.

Hill, A. J., and Heaton-Brown, L. (1994). The experience of foodcraving: a prospective investigation in healthywomen. *J. Psychosom. Res.*, 801- 814.

### « I »

Informations nutritionnelles (2013 ). Sésame graine: Composition nutritionnelle - Sésame, graine. Table de composition nutritionnelle des aliments Ciquial

### « K »

Kaderi, M., Ben Hamouda, G., Zaeir, H., Hanana, M., and Hamrouni, L. (2015). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* (L.). *Phytothérapie* **13**, 144-147.

Kaushik, S. (2000). Feed formulation, diet development and feed technology. *Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish Species Diversification Zaragoza : CIHEAM*, 43-51.

KINJAO (07 avril 2016). Barres énégetiques: qu'est ce qu'une barre énégetique, comment la choisir...toutes nos réponses.

Konate, I. (2007 ). Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia Siliqua*L.) Et des Bactéries endophytes qui lui sont associées, Université Mohammed V-Agdal.

### « L »

Laboratoire Terravita (2004-2021). Barres.

Le Comité scientifique de laNutrition.fr (consulté 2021). La nutrition, Bon à maanger, bon à savoir: Avoine.

Lee, I. (2009). *Animal Nutrition Handbook*. pp. 552.

Lyon, C. K. (1972). Sesame: Current knowledge of composition and use. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **49**, 245-249.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

### « M »

Melgarejo, P., and Salazar, D. M. (2003). Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. *Mundi-Prensa España* Vol. II, 119-162.

Messaid, H. (2007). Optimisation du processus d'immersion-réhydratation du système dattes sèches-jus d'orange, Université de Boumerdes, Faculté des sciences de l'Ingénieur.

### « N »

Natura Force (Consulté 2021). Barre énergétique bio: réalisée avec des ingrédients bruts, naturels et bio.

### « O »

Olorunfemi, T. (2007). Linear programming application to utilization of duckweed (*Lemna Paucicostata*) in least-cost ration formulation for broiler finisher. *Journal of Applied Sciences Research* 6, 1909-1914.

Olusayo, O., Olusesan, A., and Adesola, A. (2013). Review of Livestock Feed Formulation Techniques. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 3, 60-77.

Omari, C. ( 2/12/2019). Ministère de l'agriculture. *Quotidien national d'information*.

Ooreka (consulté 2021). Cultures alimentaires.

Organisation Mondiale de la Santé (2018). Alimentation saine.

### « P »

Paquin, P. (2009). Les défis réglementaires liés aux aliments santé Health Foods: A Regulatory Challenge. (U. Laval, ed.). Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnelles, Québec.

Pena, T., Lara, P., and Castrodeza, C. (2009). Multiobjective Stochastic Programming for Feed Formulation. *Journal of the Operational Research Society* 60, 1738 -1748.

Poulain, J. P. (2002). The contemporary diet in France: "de-structuration" or from commensalism to "vagabond feeding". *Appetite* 39, 43-55.

### « Q »

Quezel, P., and Santa, S. (1963). "Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome1)," Editions du centre national de la recherche scientifique, France.

### « R »

Rejeb, M. N. (1995). "Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration, in Quel avenir pour l'amélioration des plantes?," Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris.

Rochongar, P. (2007). Sport and health. Sport aptitude in children and adults. Nutritional needs in sportsmen. *La Revue du praticien* 57, 1837-43.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

Rosshairy, A., Chooi-Leng, A., and Razamin, R. (2010). Investigating Feed Mix Problem Approaches: An Overview and Potential Solution. *World Academy of Science, Engineering and Technology* **70**, 467-475.

### « S »

Santé Canada (2006). Guide alimentaire canadien pour manger sainement. Reproduit avec la permission du ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.

Sbay, H. (2008 ). "Le caroubier au Maroc un arbre d'avenir," Centre de recherche forestière charia Omar Ibn Khattab, BP.763, Agdal, Rabat, Maroc.

Sbay, H., and Abourouh, M. (2006). Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable: cas du pin pignon et du caroubier. *Centre de Recherche Forestière Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat*, 1-9.

Secrétariat de l'accès aux marchés Rapport d'analyse des marchés mondiaux (Février 2014). Tendances de consommation: Barres-collation au Royaume-Uni. pp. 1-16. Agriculture et agroalimentaire canada.

### « T »

Tortora, G. J., and Anagnostakos, N. P. (1987). "Principes d'anatomie et de physiologie," INC.

Toutain, G. (1979). "Eléments d'agronomie saharienne : de la recherche au développement," Ed. JOUVE, Paris.

### « W »

wikipédia (Mars 2021). *Sesamum indicum*.

WOFAGroup (10/08/2020). Valeur nutritionnelle des dattes séchées.

### « Y »

Yazio (2021). Tous les aliments: Caroube.

### « Z »

Zhang, F., and Roush, W. (2002). MultipleObjective (Goal) Programming Model for Feed Formulation: An Example for Reducing Nutrient Variation. *Poultry Science* **81**, 182-192.

Zhengzhou Yizeli Industrial Co (Nov 19, 2018). Fiche technique polyricinoléate de polyglycérol date.

Zubiria, L. (Février 2018). Régime alimentaire spécial sportif.

---

---

# *Annexes*

---

---



## Présentation de l'entreprise

**Activité principale:** SARL **KaouaFOOD** est une entreprise de fabrication et commercialisation de droit algérien avec plus de 8 ans d'expérience, axée principalement sur la fabrication et la commercialisation de produits agroalimentaire, de chocolat, de pâte à tartiner et de confiserie et elle est connue par ces produits phares tels que :

- La pâte à tartiner **Optilla**.
- Le chocolat en tablette **Optilla**.
- Le chocolat en coffret **Optilla/Henina/optima**.
- Le chocolat en barre **Chocobone**.
- Bonbon souple **Napolitano**.
- Bonbon gélatine **Doydoy**.
- Bonbon dure **Ovales**

**Effectif Total : 449 employés.**

**Objet social :** fabrication et commercialisation des produits Agroalimentaires

**Siège social :** Domaine Halimi propriété N260 lot 193 section03 local B Hammadi, Wilaya de Boumerdes.

### **Identité :**

Raison sociale : Sarl KAOUAFOOD.

N° Registre de commerce : 35 000725909B11.

Matricule fiscal : 001135072590936.

Identifiant statistique : 001135360009162.

Forme juridique : SARL.

Date de création : 15/05/2011.

Date d'entrée en exploitation : 2012.

Capital social : 55 000 000,00da.

Actionnaires : MEDJLADI Smati, LASMI Saïd, KAOUA Ahmed.



La balance utilisée (Originale)



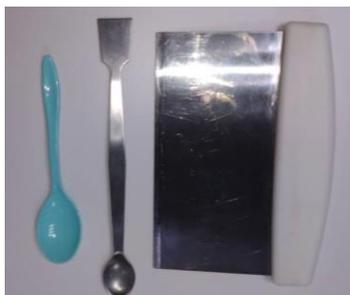
Le beurre de cacao (Originale)



Le bain marie (Originale)



L'autoclave (Originale)



Les cuillères et la raclette utilisée  
(Originale)

Tableau 23: Table de Gaussienne

Z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

Tableau 24: Table de Khi  $\chi^2$ 

$k$	$f$										
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.500	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.45	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	2.37	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	3.36	7.78	9.94	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.65	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.87	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.81	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	24.34	34.28	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.57	15.31	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	49.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	59.33	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	69.33	85.53	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	79.33	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	89.33	107.57	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	99.33	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17