



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بالقائد-تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,

des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Agronomie

MÉMOIRE

Présenté par

Mlle MANSERI WISSAM

Mlle MEBTOUL FAIZA

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER

En Sciences alimentaires

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Développement de boules énergétiques, sans sucre ajouté, à base de dattes, de beurre d'arachides artisanal et de graines. Analyses physico-chimiques, microbiologique et sensorielle

Soutenu le : 23 / 06 / 2026, devant le jury composé de :

Présidente	Mme GHANEMI Fatima Zohra	MCA	Université de Tlemcen
Examineur	Mr BENARIBA Hicham	MAB	Université de Tlemcen
Encadreur	Mr SENOUCI BEREKSI Mohamed	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2025/2026

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

En tout premier lieu, nous tenons à remercier Mr SENOUCI BEREKSI Mohamed, MCA à la faculté des Sciences de la Nature et de la vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Tlemcen, pour l'honneur qu'il nous a fait de nous encadrer, pour son aide précieuse, ses remarques et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier vivement Mme GHANEMI Fatima Zohra, MCA à la faculté des Sciences de la Nature et de la vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Tlemcen, pour avoir consacré son précieux temps à présider le jury de ce mémoire.

Nous tenons à présenter notre gratitude envers Mr BENARIBA Hicham, MAB à la faculté des Sciences de la Nature et de la vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Tlemcen, pour son dévouement à examiner ce travail.

Nous tenons à remercier nos parents pour leur soutien permanent et le réconfort qu'ils nous ont prodigué tout au long de notre cursus universitaire.

Nous remercions toutes personnes ayant participé de près ou de loin à notre formation et à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien et encouragement durant la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je remercie Allah le Très-Haut, le Tout-Puissant, qui m'a comblé des bienfaits de la raison et de la religion, Lui qui dit dans Sa révélation ferme :

"وفوق كل ذي علم عليم" (Sourate Youssouf, v. 76).

Et le Messenger d'Allah (paix et bénédictions sur lui) a dit :

"من صنع اليكم معروفا فكافنوه فان لم تجدوا ما تكافنونه به فادعوا له حتى تروا انكم كافتموه"

(Rapporté par Abou Dawoud).

*Je dédie ce diplôme à celui qui m'a appris à donner, à celui dont je porte le nom avec fierté. Je souhaite qu'Allah vous accorde une longue vie afin que vous voyiez les fruits qu'il est temps de récolter après une longue attente : à **mon cher père**.*

*Et à mon ange dans la vie, à la sensation d'amour, de tendresse et de sincérité, au sourire de la vie et au secret de l'existence, à celle dont la prière fut la clé de ma réussite, ma chérie, **ma chère mère**.*

*À ceux qui ont eu un grand mérite dans mes encouragements et ma motivation, de qui j'ai appris la persévérance et l'assiduité, qui ont été mon plus grand soutien, sur qui j'ai pu compter, auprès de qui j'ai puisé une force et un amour sans limites, avec qui j'ai appris le sens de la vie : **mes frères et ma sœur**, et les bien-aimés de mon cœur, **les enfants de ma sœur**.*

*À celle qui a goûté à la fraternité, s'est distinguée par son don, avec qui j'ai parcouru les chemins de la vie, heureux et tristes, qui fut avec moi sur la voie du succès et du bien, ma compagne **Faïza**, ainsi que toute **sa famille**, chacun portant un nom gracieux et un noble caractère.*

*Puis je remercie mes deux amies, **Rabab et Meriem**, qui ont été mon soutien psychologique et mes confidentes fidèles, toujours présentes pour moi dans les moments de besoin.*

Par la grâce d'Allah et la satisfaction de mes parents, il ne reste que quelques pas pour accomplir mon parcours universitaire. Merci à tous ceux qui m'ont soutenu. Je dédie ce diplôme et je demande à Allah la réussite. Allah est le garant de la réussite.

Manseri wissam.

DEDICACES

*Tout d'abord, je remercie Celui qui a droit à tous les remerciements, **Allah le Tout-Puissant**, pour toute l'aide et les facilités qu'Il m'a octroyées dans mon travail. Avec une immense gratitude, je dédie ce modeste travail à ceux qui ont été mes plus grands piliers tout au long de ma vie :*

À moi-même, pour ma persévérance face aux épreuves et ma capacité à me relever après chaque chute. Ce n'est pas qu'une réussite académique, mais le fruit d'un chemin parcouru malgré la fatigue et l'épuisement. Aujourd'hui, je suis fière du parcours accompli avec courage et détermination.

*À ma chère mère, **Khalida**, cette femme au courage silencieux et à l'amour infini. Tu as su endosser à toi seule les deux rôles avec une dignité admirable, étant pour moi à la fois une mère et un père. Tu as été ma lumière dans les jours sombres, ma force quand je vacillais. Ce travail est un hommage à ton sacrifice et à cette force exemplaire que tu incarnes. Que Dieu te protège comme tu m'as protégée toute ma vie.*

*À l'âme de mon père, **Ahmed**, que Dieu ait son âme. Bien que tu sois absent physiquement, tu as toujours été présent dans mon cœur. Je sais que tu me vois aujourd'hui et que tu es fier de moi. Ton souvenir est ma force et mon soutien, et ce travail est un humble témoignage de ton héritage. Que ton âme repose en paix.*

*À mes chères sœurs **Meriem** et **Hanane**, ainsi qu'à leurs époux **Houari** et **Lahcen**. Merci pour votre soutien indéfectible, votre affection discrète et vos prières qui m'ont accompagnée à chaque étape. Vous avez été pour moi un véritable refuge tout au long de ce chemin. Que Dieu bénisse vos foyers.*

*À mes petits anges, mes neveux et nièces : **Wael**, **Islem**, **Nawel** et **Assil**. Vous êtes ma joie et ma bouffée d'oxygène. Je vous dédie cette réussite avec tout mon amour.*

*À mon cher ami **Abderrezak**, pour sa présence, son soutien et son amitié sincère.*

*À ma chère amie et binôme **Wissam**, ainsi qu'à sa famille, pour ce voyage partagé, ta gentillesse et ta patience. Ce mémoire est le fruit de notre complicité et de nos efforts communs.*

À tous ceux qui m'ont soutenue, ne serait-ce que par une parole sincère ou une prière venue du cœur.

Mebtoul Faïza.

ملخص

يركز هذا العمل على تحضير كرات طاقة طبيعية وصحية مصنوعة من التمر وزبدة الفول السوداني، مع إضافة مكونات محددة لأربع تركيبات مختلفة: "القوة الداكنة" (الكاكاو والسهمس الأسود)، و"طاقة القرفة" (القرفة، والشوفان، والجوز، وبذور الكتان، والسهمس البني)، و"طاقة اللؤلؤ" (السهمس الأبيض، وجوز الهند، واللوز)، و"القوة الخضراء" (بذور اليقطين، والزبيب، والشمر، واليانسون). والهدف هو الحصول على بديل طبيعي لمنتجات الطاقة الصناعية، ذي قيمة غذائية عالية وخالي من الإضافات الكيميائية.

قمنا بتقييم الجودة الحسية للمنتجات، ثم اختبرنا جودتها الشاملة من خلال تحليل عدة معايير فيزيائية وكيميائية (الأس الهيدروجيني، ومجموع المستخلص الجاف)، وجودتها الصحية من خلال اختبارها للكشف عن بعض الكائنات الدقيقة (المكورات العنقودية، والبكتيريا المعوية، ومجموع البكتيريا الهوائية المحبة للحرارة المعتدلة، والخمائر، والفطريات). وقد أجريت هذه الاختبارات في مختبر الأحياء الدقيقة بجامعة تلمسان.

أظهرت النتائج أن المنتجات المُحصَّلة ذات جودة عالية، إذ تتمتع بخصائص فيزيائية وكيميائية (الأس الهيدروجيني، إجمالي المواد الصلبة، التركيب الغذائي) تتوافق مع معايير الإنتاج. كما أظهرت المنتجات سلامة ميكروبيولوجية (خلوها التام من الكائنات الدقيقة الممرضة: المكورات العنقودية)، بما يتماشى مع ممارسات التصنيع الصحية الجيدة، مما يضمن سلامة المستهلك. وكشف التحليل الحسي عن قبول عام جيد، مع تفضيل بعض الأصناف. هذه النتائج تجعل كرات الطاقة هذه خياراً غذائياً مفضلاً، فضلاً عن فوائدها الصحية الجمة.

الكلمات المفتاحية: كرات الطاقة، التمر، زبدة الفول السوداني، التحليل الحسي، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، التحليل الميكروبيولوجي.

Résumé

Ce travail porte sur la préparation de boules énergétiques naturelles et saines, obtenues à partir de dattes et de beurre de cacahuète, avec l'ajout d'ingrédients spécifiques pour quatre formulations différentes : « Dark Power » (cacao et sésame noir), « Cinnamon Energy » (cannelle, avoine, noix, graines de lin et sésame brun), « Pearl Energy » (sésame blanc, noix de coco et amande), et « Green Power » (graines de courge, raisins secs, fenouil et anis). L'objectif est d'obtenir une alternative naturelle aux produits énergétiques industriels, à haute valeur nutritionnelle et exempté d'additifs chimiques.

Nous avons évalué la qualité sensorielle des produits, puis testé leur qualité générale par l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques (pH, extrait sec total), et leur qualité sanitaire par la recherche de certains microorganismes (staphylocoques, entérobactéries, flore aérobie mésophile totale, levures et moisissures) ; et ce au laboratoire de microbiologie de l'Université de Tlemcen.

Les résultats ont montré que les produits obtenus sont de bonne qualité, présentant des propriétés physico-chimiques (pH, EST, composition nutritionnelle) conformes aux normes de production. Les produits présentent aussi une innocuité microbiologique (absence totale des microorganismes pathogènes : staphylocoques), selon les bonnes pratiques d'hygiène de fabrication ce qui garantit la sécurité des consommateurs. L'analyse sensorielle a révélé une bonne acceptabilité globale avec une préférence pour certaines gammes. Ces résultats font de ces boules énergétiques un aliment de choix, tout en étant très bénéfique pour la santé.

Mots-clés : Boules énergétiques, Dattes, Beurre de cacahuète, Analyse sensorielle, Propriétés physico-chimiques, Analyse microbiologique.

Abstract

This work focuses on the preparation of natural and healthy energy balls, made from dates and peanut butter, with the addition of specific ingredients for four different formulations: "Dark Power" (cocoa and black sesame), "Cinnamon Energy" (cinnamon, oats, walnuts, flaxseeds and brown sesame), "Pearl Energy" (white sesame, coconut and almonds), and "Green Power" (pumpkin seeds, raisins, fennel and anise). The aim is to obtain a natural alternative to industrial energy products, with high nutritional value and free from chemical additives. We evaluated the sensory quality of the products, then tested their general quality by analyzing some physicochemical parameters (pH, total dry extract), and their safety by testing for certain microorganisms (staphylococci, enterobacteria, total aerobic mesophilic flora, yeasts and molds); this was carried out at the microbiology laboratory of the University of Tlemcen.

The results showed that the obtained products are of good quality, exhibiting physico-chemical properties (pH, total dry extract, nutritional composition) compliant with production standards. The products also show microbiological safety (total absence of pathogenic microorganisms: staphylococci), in accordance with good manufacturing hygiene practices, which guarantees consumer safety. Sensory analysis revealed good overall acceptability with a preference for certain ranges. These results make these energy balls a food of choice, while being very beneficial for health.

Keywords: Energy balls, Dates, Peanut butter, Sensory analysis, Physicochemical properties, Microbiological analysis

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Les produits alimentaires énergétiques -----Error! Bookmark not defined.

1.1 Définition : -----Error! Bookmark not defined.

1.1.1 Rôle dans l'alimentation : -----Error! Bookmark not defined.

1.2 Les besoins énergétiques de l'organisme -----Error! Bookmark not defined.

1.2.1 Importance de l'énergie pour les êtres vivants : --Error! Bookmark not defined.

1.2.2 Rôle dans l'activité quotidienne et le sport : -----Error! Bookmark not defined.

1.3 Importance nutritionnelle des aliments énergétiques -Error! Bookmark not defined.

1.3.1 Maintien de la santé :-----Error! Bookmark not defined.

1.3.2 Apport en nutriments essentiels :-----Error! Bookmark not defined.

1.4 Les produits énergétiques du commerce : -----Error! Bookmark not defined.

1.4.1 Compléments alimentaires énergétiques :-----Error! Bookmark not defined.

1.4.2 Barres énergétiques : -----Error! Bookmark not defined.

1.4.3 Boissons énergétiques : -----Error! Bookmark not defined.

1.5 Limites des produits énergétiques industriels : -----Error! Bookmark not defined.

1.5.1 Additifs alimentaires :-----Error! Bookmark not defined.

1.5.2 Teneur élevée en sucres : -----Error! Bookmark not defined.

1.5.3 Effets potentiels sur la santé : -----Error! Bookmark not defined.

1.6 Les alternatives naturelles aux produits énergétiques industriels :Error! Bookmark not defined.

1.6.1 Produits « Bio » : -----Error! Bookmark not defined.

1.6.2 Snacks naturels : -----Error! Bookmark not defined.

1.6.3 Les boules énergétiques : une solution naturelle et saine :Error! Bookmark not defined.

Chapitre 2 : Les boules énergétiques -----Error! Bookmark not defined.

2.1 Définition :-----Error! Bookmark not defined.

2.2 Caractéristiques nutritionnelles et bienfaits pour la santé :Error! Bookmark not defined.

2.3 Avantages par rapport aux produits industriels : -----Error! Bookmark not defined.

2.4 Diversité des formulations et des saveurs :-----Error! Bookmark not defined.

Chapitre 3 : Les différentes gammes de boules énergétiques préparées et leurs ingrédients-----Error! Bookmark not defined.

3.1 Les ingrédients de base : -----Error! Bookmark not defined.

3.1.1 Les dattes :-----Error! Bookmark not defined.

3.1.2 Le beurre de cacahuète : -----Error! Bookmark not defined.

3.2 Les ingrédients spécifiques pour chaque gamme : ---Error! Bookmark not defined.

3.3. Les différentes gammes développées et leurs intérêt nutritionnelle :Error! Bookmark not defined.

Partie expérimentale

1.Matières premières utilisées : -----Error! Bookmark not defined.

2.Matériel utilisé :-----Error! Bookmark not defined.

3. Méthodes de préparation :-----Error! Bookmark not defined.

3.1 Fabrication du beurre de cacahuète artisanal : -----Error! Bookmark not defined.

3.2 Formulation et façonnage des boules énergétiques : --Error! Bookmark not defined.

3. Les analyses physico-chimiques-----Error! Bookmark not defined.

3.1. Détermination du pH -----Error! Bookmark not defined.

3.2. Détermination de l'extrait sec total (EST) : -----Error! Bookmark not defined.

Détermination de la composition en glucides, protéines, lipides et valeur énergétique :
-----Error! Bookmark not defined.

4. L'Analyse microbiologique : -----Error! Bookmark not defined.

4.1. Matériel et milieux de culture utilisés : -----Error! Bookmark not defined.

4.2. Préparation des dilutions décimales pour analyse :---Error! Bookmark not defined.

4.3. Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FAMT)Error! Bookmark not defined.

4.4. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*Error! Bookmark not defined.

4.5. Recherche et dénombrement des entérobactéries -----Error! Bookmark not defined.

4.6. Recherche et dénombrement des levures -----Error! Bookmark not defined.

- 4.7. Recherche et dénombrement des moisissures -----Error! Bookmark not defined.
5. Analyse sensorielle :-----Error! Bookmark not defined.

Résultats et Discussion

1. Présentation des boules énergétiques produites : -----Error! Bookmark not defined.

1. **Gamme « Dark Power »** : Une boule noire homogène à la texture dense et fondante
-----Error! Bookmark not defined.
2. **Gamme « Cinnamon Energy »** : Une boule brune granuleuse qui libère son énergie progressivement -----Error! Bookmark not defined.
3. **Gamme « Pearl Energy »** : Une boule blanc nacré à la texture crémeuse et riche en calcium-----Error! Bookmark not defined.
4. **Gamme « Green Power »** – Une boule verte tachetée, croquante et très riche en minéraux et fibres -----Error! Bookmark not defined.

2. Les résultats d'analyses physico-chimiques : -----Error! Bookmark not defined.

- 2.1 pH :-----Error! Bookmark not defined.
- 2.2 Extrait sec total :-----Error! Bookmark not defined.
- 2.3 Les valeurs nutritionnelles calculées : -----Error! Bookmark not defined.

4. Analyse sensorielle : -----Error! Bookmark not defined.

- 4.1. Odeur :-----Error! Bookmark not defined.
- 4.2. Goût : -----Error! Bookmark not defined.
- 4.3. Couleur :-----Error! Bookmark not defined.
- 4.4. Consistance :-----Error! Bookmark not defined.
- 4.5. Texture : -----Error! Bookmark not defined.
- 4.6. Choix de préférence : -----Error! Bookmark not defined.

Conclusion-----Error! Bookmark not defined.

Références bibliographiques-----Error! Bookmark not defined.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition nutritionnelle, caractéristiques fonctionnelles et impacts physiologiques des principaux ingrédients dans une matrice alimentaire non cuite.

Tableau 2 : Les résultats des analyses physico-chimiques.

Tableau 3 : Résultats (UFC/g) de recherche et dénombrement des différents microorganismes recherchés.

Tableau 4 : Moyennes des caractères organoleptiques des différents gammes .

Liste des figures

Figure 1 : Compléments alimentaires énergétiques

Figure 2 : barres énergétiques

Figure 3 : Boissons énergétiques

Figure 4: Boules énergétiques .

Figure 5 : Les dattes.

Figure 6 : schéma de procédé de fabrication du beurre d'arachide, étapes à suivre.

Figure 7: Beurre de cacahuètes artisanal.

Figure 8: les ingrédients supplémentaires des différentes gammes .

Figure 9 : Torréfaction des cacahuètes.

Figure 10 : La pâte de beurre de cacahuètes.

Figure 11: Stockage du beurre de cacahuètes en bocal de verre.

Figure12 : schéma récapitulatif de formulation des quatre gammes .

Figure 13: mesure de pH avec un pH mètre.

Figure 14: séchage des échantillons.

Figure 15: Analyses microbiologiques des différentes gammes des boules énergétiques

Figure 16: Gamme « Dark Power ».

Figure 17: Gamme « Cinnamon Energy ».

Figure 18: Gamme « Pearl Energy ».

Figure 19: Gamme « Green Power ».

Figure 20: Variation du pH des boules énergétiques .

Figure 21:Extrait sec totale des boules énergétiques.

Figure 22 : Variation des valeurs nutritionnelles (glucides, protéines, lipides et kcal/100g) des quatre gammes de boules énergétiques.

Figure 23:Les résultats d'analyse microbiologiques.

Figure 24 : Variation de l'odeur des différentes gammes des boules .

Figure 25: Variation de Goût des différentes gammes des boules .

Figure 26: Variation de couleur des différentes gammes des boules .

Figure 27: Variation de Consistance des différentes gammes des boules .

Figure 28: Variation de texture des différentes gammes des boules .

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ALA	Acide Alpha-Linolénique
ATP	Adénosine Triphosphate
EST	Extrait Sec Total
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FAMT	Flore Aérobie Mésophile Totale
GDL	Glucono-Delta-Lactone
g	Gramme
h	Heure
kcal	Kilocalorie
kJ	Kilojoule
LDL	Low Density Lipoprotein (Lipoprotéines de basse densité)
MCT / TCM	Triglycérides à Chaîne Moyenne
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PDA	Potato Dextrose Agar
pH	Potentiel Hydrogène
TGEA	Tryptone Glucose Yeast Extract Agar
UFC	Unité Formant Colonie
°C	Degré Celsius

Introduction

Introduction

Les produits alimentaires énergétiques industriels connaissent une popularité croissante, notamment auprès des sportifs et des personnes actives, en raison de leur praticité et de leur capacité à fournir un apport calorique rapide (**Zhu, 2021**). Ces produits, qui incluent les barres, gels et boissons énergétiques, sont formulés pour délivrer une source concentrée d'énergie grâce à une composition riche en glucides simples et en lipides (**Drewnowski et Specter, 2004**). Cependant, leur formulation repose souvent sur une utilisation massive de sucres raffinés, d'additifs chimiques, de conservateurs et de colorants artificiels, dont les effets néfastes sur la santé à long terme sont de mieux en mieux documentés (**FAO, 2013**).

En effet, une consommation excessive de ces produits est associée à un risque accru d'obésité, de diabète de type 2 et de maladies cardiovasculaires (**Costantino et al., 2023**), ainsi qu'à des troubles du sommeil et une dépendance à la caféine dans le cas des boissons énergétiques (**Alshumrani et al., 2023**). Face à ce constat, l'Organisation Mondiale de la Santé recommande de limiter la consommation d'aliments ultra-transformés et de privilégier une alimentation diversifiée fondée sur des aliments bruts ou peu transformés (**OMS, 2020**).

C'est dans ce contexte que les alternatives naturelles aux produits énergétiques industriels suscitent un intérêt grandissant. Les consommateurs sont de plus en plus nombreux à rechercher des snacks sains, élaborés à partir d'ingrédients simples, exempts d'additifs et respectueux de l'environnement (**Granato et al., 2020**). Parmi ces alternatives, les boules énergétiques artisanales (Energy balls) se distinguent comme une solution à la fois naturelle, pratique et nutritionnellement intéressante.

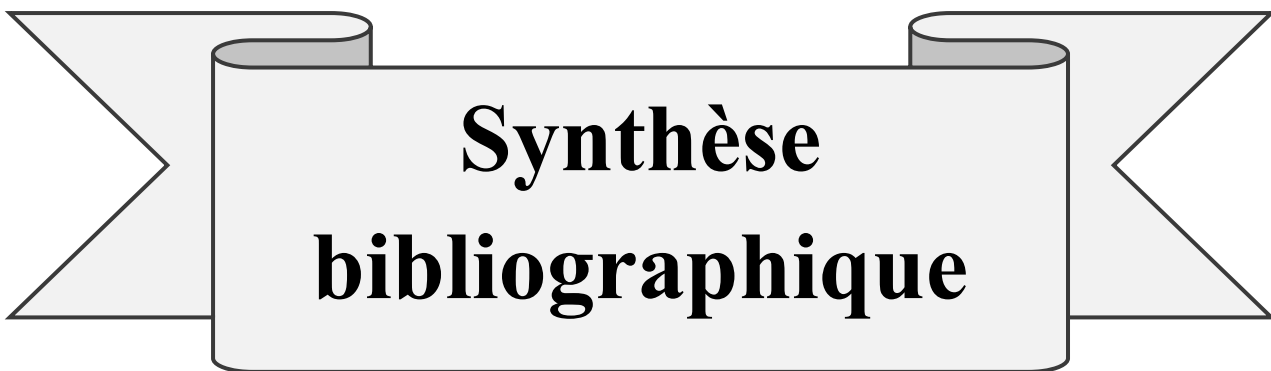
Composées principalement de fruits secs (notamment les dattes), d'oléagineux, de graines et de céréales complètes, elles offrent une densité énergétique élevée ainsi qu'une grande richesse en nutriments essentiels (fibres, protéines végétales, acides gras insaturés, vitamines et minéraux) (**Brito, 2025**). Leur préparation sans cuisson préserve par ailleurs les composés thermosensibles tels que les polyphénols et les acides gras oméga-3, renforçant leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (**Silva et al., 2021**).

Le présent travail s'inscrit dans cette dynamique de valorisation des ingrédients naturels. Il porte sur l'élaboration et la caractérisation de boules énergétiques à base de dattes et de beurre de cacahuète artisanal, déclinées en quatre gammes distinctes, chacune enrichie d'ingrédients spécifiques aux propriétés fonctionnelles ciblées : « Dark Power » (cacao et sésame noir), « Cinnamon Energy » (cannelle, avoine, noix, graines de lin et sésame brun), « Pearl Energy »

Introduction

(sésame blanc, noix de coco et amande) et « Green Power » (graines de courge, raisins secs, fenouil et anis vert).

Par la suite, nous avons procédé à l'analyse de certains paramètres physico-chimiques (pH et extrait sec total) et microbiologiques (recherche des staphylocoques, entérobactéries, flore aérobie mésophile totale, levures et moisissures), suivie d'une analyse sensorielle visant à évaluer les propriétés organoleptiques des produits finis. Ce mémoire comporte trois chapitres : le premier est une synthèse bibliographique portant sur les produits énergétiques, leurs limites et les alternatives naturelles, avec un focus sur les boules énergétiques ; le second est consacré à la présentation du matériel et des méthodes utilisés ; et un dernier chapitre qui présente, interprète et discute les différents résultats obtenus.



Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Les produits alimentaires énergétiques

1.1 Définition :

Les produits alimentaires énergétiques se définissent comme des denrées destinées à fournir à l'organisme l'énergie nécessaire à son fonctionnement, se distinguant par leur haute densité énergétique grâce à une composition riche en lipides, protéines et glucides et une faible teneur en eau (**Drewnowski et Specter, 2004 ; Hardouin, 2020**). L'apport énergétique provient principalement des macronutriments : glucides (4 kcal/g), lipides (9 kcal/g) et protéines (4 kcal/g) (**Drewnowski, 2005**).

Conçus pour offrir une source d'énergie rapide et durable, ils répondent aux besoins spécifiques des populations aux dépenses énergétiques élevées, se déclinant en barres énergétiques, snacks fonctionnels et préparations à base de céréales, fruits secs et oléagineux (**Zhu, 2020**). Leur formulation est souvent optimisée par un enrichissement en nutriments spécifiques, protéines, fibres, micronutriments, les inscrivant dans la catégorie des aliments fonctionnels pour offrir des bénéfices supplémentaires pour la santé (**Granato et al., 2020**).

1.1.1 Rôle dans l'alimentation :

Les produits énergétiques occupent une fonction stratégique en constituant le "carburant" cellulaire permettant la synthèse de l'adénosine triphosphate (ATP), molécule universelle de stockage et de transfert d'énergie dans l'organisme (**Rahmawati et al., 2025**). Leur caractéristique fondamentale réside dans leur haute densité énergétique, qui leur permet de contribuer significativement à la couverture des besoins caloriques quotidiens, particulièrement chez les personnes aux exigences énergétiques accrues (**Drewnowski et Specter, 2004**). D'une part, ces aliments constituent une source d'énergie rapidement mobilisable grâce à leur teneur élevée en glucides simples et complexes, tandis que leur richesse en lipides permet une libération progressive de l'énergie, un atout majeur pour les activités d'endurance (**Zhu, 2021**).

Dans le domaine de la nutrition sportive, ils jouent un rôle stratégique pour améliorer les performances, retarder la fatigue et favoriser la récupération musculaire. Leur intérêt s'étend également aux contextes cliniques : malnutrition, convalescence, croissance, où leur capacité à concentrer une grande quantité d'énergie sous un faible volume constitue un atout thérapeutique. Les évolutions récentes ont conduit à l'émergence de produits énergétiques "fonctionnels", formulés pour apporter, au-delà des calories, des nutriments essentiels tels que

Synthèse bibliographique

protéines, fibres, vitamines et minéraux, leur conférant un rôle élargi dans l'amélioration de la qualité globale de l'alimentation **(Granato et al. , 2020)**.

Une alimentation équilibrée doit idéalement répartir l'apport énergétique entre 45 et 55 % de glucides, 35 à 40 % de lipides et 10 à 15 % de protéines pour garantir la couverture des besoins et la prévention des carences **(Pooyandjoo et al., 2020 ; Laboratoire Lescuyer, 2023 ; Natura Force, 2025)**.

1.2 Les besoins énergétiques de l'organisme

1.2.1 Importance de l'énergie pour les êtres vivants :

L'énergie constitue le pilier fondamental du vivant, assurant le maintien des fonctions vitales et la survie des organismes à travers des processus biologiques essentiels. Au cœur du métabolisme cellulaire, les nutriments issus de l'alimentation sont convertis en adénosine triphosphate (ATP), véritable monnaie énergétique universelle qui alimente l'ensemble des réactions biochimiques nécessaires à la croissance, à la reproduction et à la régulation physiologique **(Müller et Canfora, 2020)**.

La balance énergétique, définie comme l'équilibre subtil entre les apports nutritionnels et la dépense métabolique, joue un rôle déterminant dans le maintien de l'homéostasie et de la santé globale ; toute perturbation de cet équilibre peut engendrer des troubles métaboliques majeurs tels que l'obésité ou la malnutrition **(Westerterp, 2017)**. Ces besoins énergétiques présentent une variabilité physiologique importante : un homme adulte modérément actif nécessite environ 11 300 kJ (2 700 kcal) par jour, contre 8 400 kJ (2 000 kcal) pour une femme dans des conditions comparables. Ces valeurs augmentant significativement, jusqu'à 30 % chez les sportifs, durant les périodes de croissance, la gestation, l'allaitement ou lors d'une activité physique soutenue **(Hardouin, 2020 ; Rahmawati et al., 2025)**.

Au-delà de ces mécanismes fondamentaux, l'énergie soutient les processus physiologiques élémentaires : respiration, circulation sanguine, activité cérébrale, tout en permettant l'adaptation aux contraintes environnementales et l'accomplissement des activités physiques. Ainsi, l'énergie s'impose comme un facteur déterminant du fonctionnement, du développement et de la pérennité des organismes vivants, confirmant sa place centrale dans les enjeux de l'alimentation et de la nutrition **(Pontzer et al., 2021)**.

Synthèse bibliographique

1.2.2 Rôle dans l'activité quotidienne et le sport :

L'énergie est au cœur de toutes les activités humaines, qu'elles soient quotidiennes ou sportives. Dans la vie de tous les jours, elle permet d'assurer les fonctions vitales, comme la respiration, la circulation sanguine ou encore l'activité cérébrale, et de réaliser les tâches courantes telles que marcher, travailler ou étudier. Cette énergie provient essentiellement des macronutriments contenus dans l'alimentation (glucides, lipides et protéines), qui sont convertis par l'organisme en une molécule universelle : l'adénosine triphosphate (ATP), véritable carburant de nos cellules **(Pontzer et al., 2021)**.

Dans le cadre d'une activité sportive, ces besoins énergétiques augmentent considérablement, en fonction de l'intensité et de la durée de l'effort. Les glucides représentent alors la source d'énergie privilégiée lors d'exercices intenses et brefs, tandis que les lipides sont davantage mobilisés au cours d'efforts prolongés, où ils assurent un apport calorique plus durable. Une disponibilité énergétique adaptée permet non seulement d'améliorer les performances physiques, mais aussi de retarder l'apparition de la fatigue et de favoriser une meilleure récupération après l'effort **(Westerterp, 2017)**.

1.3 Importance nutritionnelle des aliments énergétiques

1.3.1 Maintien de la santé :

Les aliments énergétiques jouent un rôle prépondérant dans la régulation des fonctions physiologiques et la prévention des maladies métaboliques. L'intégration de sources végétales denses, telles que les dattes et les graines oléagineuses, permet non seulement de stabiliser la réponse glycémique, mais aussi d'améliorer la digestibilité des protéines, essentielle pour le maintien de la masse musculaire **(Algheshairy et al., 2025)**.

Par ailleurs, la consommation de produits énergétiques naturels, riches en composés bioactifs, contribue à la réduction du stress oxydatif et à la protection du système cardiovasculaire grâce à leur teneur élevée en antioxydants **(Shahidi et Ambigaipalan, 2018)**.

Enfin, une alimentation énergétique équilibrée soutient la santé immunitaire et intestinale en favorisant un microbiote diversifié, ce qui renforce la résilience globale de l'organisme face aux agressions extérieures **(Hussain et al., 2023)**.

Synthèse bibliographique

1.3.2 Apport en nutriments essentiels :

L'importance de ces aliments réside également dans leur capacité à fournir une concentration optimale de micronutriments et de macronutriments essentiels. Ils constituent une source majeure de fibres alimentaires (solubles et insolubles), indispensables pour la régulation du transit et le contrôle du poids (**Karimi et Hosseini, 2024**).

Sur le plan des micronutriments, ces aliments apportent des vitamines (notamment la vitamine E et le groupe B) ainsi que des minéraux cruciaux tels que le magnésium, le calcium et le potassium, qui sont souvent déficitaires dans les régimes alimentaires modernes (**Brito, 2025**). De plus, l'utilisation d'ingrédients bruts assure un apport en acides gras polyinsaturés, notamment les oméga-3, qui jouent un rôle structural dans les membranes cellulaires et soutiennent les fonctions cognitives (**Shahidi et Ambigaipalan, 2018 ; Hussain et al., 2023**).

1.4 Les produits énergétiques du commerce :

1.4.1 Compléments alimentaires énergétiques :

Les compléments alimentaires dits « énergétiques » sont conçus pour apporter des nutriments en concentration élevée : vitamines, minéraux, acides aminés, glucides, dans l'objectif de répondre à des besoins accrus ou de pallier d'éventuelles carences nutritionnelles. Particulièrement utilisés par les sportifs ou les personnes en état de fatigue passagère, ils ne sauraient néanmoins se substituer à une alimentation variée et équilibrée (**OMS, 2020**).



Figure 1 : Compléments alimentaires énergétiques
(<https://share.google/luYDpXo1ZA1hh6Plq>)

Synthèse bibliographique

1.4.2 Barres énergétiques :

Les barres énergétiques occupent une place de choix en raison de leur format pratique et de leur composition dense sur le plan nutritionnel. À base de céréales, de fruits secs, d'oléagineux et de sucres, elles fournissent une source d'énergie rapidement mobilisable, aisément transportable. Certaines formulations, enrichies en protéines et en micronutriments, renforcent encore leur intérêt nutritionnel (Zhu, 2021).



Figure 2 : barres énergétiques

<https://www.bioandco.bio/10-aliments-energetiques-pour-garder-la-forme/>

1.4.3 Boissons énergétiques :

Les boissons énergétiques, quant à elles, visent à stimuler de façon temporaire les performances physiques et mentales, grâce à leur teneur en caféine et en sucres. Leur consommation doit toutefois rester modérée : un usage excessif est susceptible d'entraîner des effets indésirables, notamment sur le plan cardiovasculaire et sur la qualité du sommeil (Alshumrani et al., 2023).



Figure 3 : Boissons énergétiques (photo originale)

Synthèse bibliographique

1.5 Limites des produits énergétiques industriels :

Si ces produits présentent des avantages indéniables en termes de praticité et d'apport énergétique rapide, ils n'en comportent pas moins certaines limites, susceptibles d'affecter la santé des consommateurs (OMS, 2020).

1.5.1 Additifs alimentaires :

Les formulations industrielles recourent fréquemment à des additifs : conservateurs, colorants, arômes, destinés à prolonger la durée de conservation ou à améliorer les qualités sensorielles. Une exposition répétée à ces substances peut soulever des questions légitimes en matière de sécurité sanitaire (FAO, 2013).

1.5.2 Teneur élevée en sucres :

Nombre de ces produits se caractérisent également par une richesse en sucres ajoutés, choisie pour offrir un effet énergétique immédiat. Or, une consommation excessive de sucres est clairement associée à une augmentation des risques d'obésité, de diabète de type 2 et de maladies cardiovasculaires (Costantino et al., 2023).

1.5.3 Effets potentiels sur la santé :

Au-delà des aspects nutritionnels, l'usage abusif de produits énergétiques, en particulier des boissons enrichies en caféine, peut être source de troubles cardiovasculaires, de fatigue chronique ou encore de phénomènes de dépendance. Ces constats invitent à privilégier, autant que possible, une alimentation équilibrée et diversifiée, fondée sur des aliments peu transformés (Levy et al., 2019).

1.6 Alternatives naturelles aux produits énergétiques industriels :

Devant les limites des produits énergétiques industriels, on observe un intérêt croissant pour les alternatives naturelles. Ces dernières séduisent par leur composition plus saine, leur richesse en nutriments et une présence réduite, voire nulle, d'additifs chimiques. Elles répondent ainsi à une demande de plus en plus forte des consommateurs pour une alimentation plus équilibrée et respectueuse de la santé (OMS, 2020).

Synthèse bibliographique

1.6.1 Produits « Bio » :

Les aliments issus de l'agriculture biologique figurent parmi les alternatives les plus prisées aux produits énergétiques industriels. Élaborés sans pesticides chimiques, sans engrais de synthèse ni additifs artificiels, ils offrent de meilleures garanties sur les plans nutritionnel et sanitaire. De plus, on leur attribue souvent une teneur plus élevée en certains micronutriments et en composés antioxydants, tous deux bénéfiques pour l'organisme(Barański et al., 2014).

Par ailleurs, privilégier le Bio s'inscrit dans une démarche globale d'alimentation durable et équilibrée, pleinement en phase avec les recommandations des grandes instances internationales de santé et de nutrition (Willett et al., 2019).

1.6.2 Snacks naturels :

Les snacks naturels constituent une alternative à la fois saine et pratique aux produits énergétiques industriels. À base d'ingrédients simples et peu transformés : fruits secs, noix, graines, céréales complètes, ils fournissent une source d'énergie naturelle, tout en apportant des fibres, des vitamines, des minéraux et des acides gras essentiels (zhu, 2021).

Contrairement aux produits industriels, ces snacks contiennent peu ou pas de sucres ajoutés ni d'additifs, ce qui limite les risques pour la santé liés à une consommation excessive. Ils participent ainsi à une meilleure qualité globale de l'alimentation et à la prévention de certaines maladies associées à une mauvaise nutrition (Srouf et al., 2019).

1.6.3 Les boules énergétiques : une solution naturelle et saine :

Face à la multiplication des produits énergétiques industriels souvent riches en additifs et en sucres raffinés, les boules énergétiques apparaissent comme une alternative à la fois naturelle et innovante. Composées d'ingrédients simples et peu transformés : dattes, fruits secs, graines et oléagineux, elles offrent une densité énergétique élevée ainsi qu'une grande richesse en nutriments essentiels. Leur formulation répond ainsi à certaines recommandations en faveur d'une alimentation saine et équilibrée (OMS, 2020).

▪ Une énergie naturellement équilibrée :

Grâce aux glucides des fruits secs, notamment des dattes, ces boules fournissent une énergie rapidement mobilisable. Les lipides issus des noix et graines permettent quant à eux une libération plus progressive. Cette synergie glucides-lipides est particulièrement adaptée aux besoins de l'organisme lors d'activités physiques ou d'efforts prolongés (Zhu, 2021).

Synthèse bibliographique

▪ Un concentré de nutriments essentiels :

Au-delà de l'apport énergétique, ces préparations sont riches en fibres, vitamines et minéraux. Les fruits secs y contribuent par leurs sucres naturels et leurs fibres alimentaires, tandis que les oléagineux apportent des acides gras insaturés bénéfiques pour la santé cardiovasculaire. Une telle diversité nutritionnelle permet d'améliorer la qualité globale de l'alimentation et de prévenir certaines carences (FAO, 2013).

▪ Une alternative saine aux produits industriels :

Contrairement aux barres et gels énergétiques du commerce, les boules artisanales sont généralement exemptes d'additifs chimiques, de conservateurs et de sucres raffinés. Leur préparation maison permet en outre de maîtriser la qualité des ingrédients et d'adapter les recettes à des besoins spécifiques. Elles s'inscrivent ainsi dans une démarche de consommation plus naturelle et durable (Springmann et al., 2016).

Chapitre 2 : Les boules énergétiques

2.1 Définition :

Les boules énergétiques sont des en-cas sucrés, non cuits au four, formulés à partir d'ingrédients naturels pour fournir une source concentrée d'énergie et de nutriments. Leur composition repose généralement sur une base de fruits secs (dattes, raisins), de noix, de graines et de céréales complètes. Ces ingrédients sont mixés, puis roulés en petites bouchées prêtes à être consommées à tout moment, ce qui leur confère un profil nutritionnel riche en protéines, glucides, fibres et lipides de bonne qualité. Leur préparation sans cuisson préserve les composés thermosensibles tels que les polyphénols et les acides gras oméga, renforçant ainsi leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Brito, 2025).



Figure 4: Boules énergétiques.

<https://defisante.defimedia.info/nutrition/energy-balls-des-collations-saines-pleines-denergie/>
<https://betterme.world/articles/energy-balls/>

2.2 Caractéristiques nutritionnelles et bienfaits pour la santé :

Les boules énergétiques se distinguent par un profil nutritionnel dense qui en fait bien plus qu'une simple collation. Composées généralement d'un mélange de dattes, de beurre de cacahuète, de fruits à coque et de fruits secs, elles concentrent des nutriments essentiels (Charlon, 2020). Une telle association peut atteindre une valeur calorique de l'ordre de 328 à 353 Kcal pour 100 grammes, tout en offrant une richesse remarquable en acides aminés, en acides gras de qualité et en fibres (Alsuhebani et al., 2025).

Synthèse bibliographique

Cette densité nutritionnelle est confirmée par le fait que les fruits à coque et les oléagineux sont des sources précieuses de lipides, de protéines végétales, de minéraux (calcium, magnésium, potassium) et de vitamine E, contribuant ainsi à la santé cardiovasculaire et à la protection contre le stress oxydatif. Ces bouchées sont également une source importante de fibres solubles et insolubles, favorisant un bon transit intestinal et la stimulation du microbiote **(Charlon, 2020)**. Ces boules présentent un faible index glycémique (<55) et n'induisent pas d'hyperglycémie après le repas chez les jeunes adultes, ce qui en fait une option énergétique stable **(Alsuhebani et al, 2025)**.

2.3 Avantages par rapport aux produits industriels :

Les boules énergétiques naturelles présentent plusieurs avantages significatifs face aux produits énergétiques industriels. Leur formulation à base d'ingrédients simples et peu transformés leur confère une meilleure qualité nutritionnelle ainsi qu'une sécurité alimentaire accrue, répondant ainsi aux recommandations d'une alimentation saine et équilibrée promues **(OMS, 2020)**.

Contrairement aux produits industriels souvent appauvris ou enrichis artificiellement, elles se distinguent par leur richesse en nutriments essentiels : glucides, lipides, protéines, fibres, vitamines et minéraux, qui conservent les propriétés nutritionnelles des ingrédients d'origine, contribuant ainsi à une meilleure couverture des besoins nutritionnels et à une alimentation plus équilibrée **(Granato et al., 2020)**.

Par ailleurs, grâce à leur teneur élevée en glucides naturels issus des fruits secs, notamment les dattes, les boules énergétiques fournissent une énergie rapidement disponible pour l'organisme, ce qui les rend particulièrement adaptées aux activités physiques ou aux situations nécessitant un apport énergétique immédiat. La présence de lipides de qualité permet quant à elle une libération progressive de l'énergie, assurant un effet durable. Cette combinaison en fait une source d'énergie à la fois rapide et prolongée, répondant efficacement aux besoins de l'effort **(Zhu, 2021)**.

Enfin, leur composition repose exclusivement sur des ingrédients naturels : fruits secs, noix, graines, céréales, sans recours aux additifs chimiques, conservateurs ou colorants artificiels fréquemment présents dans les produits industriels. Cette approche réduit les risques associés à la consommation de produits ultra-transformés, notamment les effets liés à l'excès de sucres ajoutés ou aux additifs alimentaires, et s'inscrit dans une démarche de consommation plus saine et durable **(FAO, 2013)**.

Synthèse bibliographique

2.4 Diversité des formulations et des saveurs :

Les boules énergétiques se caractérisent par une grande diversité de formulations et de saveurs, résultant de la variété des ingrédients utilisés et des objectifs nutritionnels recherchés. Cette flexibilité permet d'adapter ces produits aux préférences des consommateurs ainsi qu'aux besoins spécifiques de différentes catégories de population, constituant un avantage majeur par rapport aux produits énergétiques industriels standardisés (**Maya et al., 2022**) (Tableau 1).

2.4.1 Selon les ingrédients :

La diversité des boules énergétiques dépend en grande partie des ingrédients qui les composent. Les recettes peuvent inclure différents types de fruits secs (dattes, figes, raisins secs), d'oléagineux (amandes, noix, cacahuètes), de graines (sésame, chia, lin) et de céréales (avoine). Chaque combinaison confère des caractéristiques organoleptiques spécifiques en termes de goût, de texture et d'arôme. L'ajout de cacao, de noix de coco ou d'épices permet de varier les saveurs et d'améliorer l'acceptabilité sensorielle du produit (**Chauhan et al., 2024**).

2.4.2 Selon les objectifs nutritionnels :

Les formulations peuvent également être adaptées en fonction des objectifs nutritionnels visés. Certaines recettes sont conçues pour être riches en protéines, afin de répondre aux besoins des sportifs et favoriser la récupération musculaire, tandis que d'autres privilégient une teneur élevée en fibres pour améliorer la satiété et la santé digestive. Il est également possible de formuler des boules énergétiques enrichies en micronutriments spécifiques (vitamines, minéraux) pour répondre à des besoins particuliers, ce qui les rapproche des aliments fonctionnels (**Essa et al., 2021**).

Synthèse bibliographique

Tableau 1 : Composition nutritionnelle, caractéristiques fonctionnelles et impacts physiologiques des principaux ingrédients dans une matrice alimentaire non cuite.

Composants Majeurs	Sources Types (Ingrédients)	Valeurs / Caractéristiques	Impacts Physiologiques et Bienfaits	Références Citées
Énergie totale	Dattes, fruits secs, oléagineux	328 – 353 Kcal / 100g	Apport calorique dense pour l'effort immédiat et la récupération.	(Al-Maiman et al.,2023).
Glucides et Index Glycémique	Dattes, raisins secs.	Index Glycémique Faible (< 55)	Absence d'hyperglycémie postprandiale chez les jeunes adultes ; stabilité de l'énergie.	(Alkaabi et al.,2011).
Lipides de qualité	Beurre de cacahuète, amandes, noix	Richesse en acides gras insaturés (Oméga)	Protection cardiovasculaire, réduction du stress oxydatif, libération prolongée de l'énergie.	(Ros ,2010).
Fibres alimentaires	Graines (lin), avoine, dattes	Fibres solubles et insolubles	Amélioration du transit intestinal, stimulation positive du microbiote et satiété.	(Dreher ,2018) .
Composés thermosensibles	Ingrédients crus (sans cuisson)	Polyphénols, Vitamine E	Propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires préservées par l'absence de traitement thermique.	(Silva et al. ,2021).

Chapitre 3 : Les différentes gammes de boules énergétiques préparées et leurs ingrédients

3.1 Les ingrédients de base :

3.1.1 Les dattes :

Les dattes sont les fruits comestibles du palmier-dattier, *Phoenix dactylifera* L., une culture traditionnelle dans les régions arides et semi-arides du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord. La datte est considérée comme un aliment de base possédant une haute valeur nutritionnelle et une longue capacité de stockage, ce qui en fait une ressource alimentaire essentielle pour les zones arides (FAO, 2001).

Sur le plan nutritionnel, les dattes sont reconnues pour leur richesse en glucides (65-70 g pour 100 g), principalement sous forme de sucres simples (fructose et glucose), ce qui en fait une source d'énergie concentrée. Elles se distinguent également par leur teneur élevée en fibres alimentaires (environ 8 g pour 100 g), particulièrement en fibres insolubles, ainsi que par leur apport en minéraux essentiels tels que le sélénium, le cuivre, le potassium et le magnésium. Les dattes contiennent également des vitamines du groupe B, de la vitamine C, ainsi que des composés phénoliques et des caroténoïdes dotés de propriétés antioxydantes (Al-Farsi et Lee, 2008).



Figure 5 : Les dattes (Photo originale).

Synthèse bibliographique

Les revues scientifiques récentes indiquent que les dattes possèdent de multiples bienfaits pour la santé, ce qui leur confère le statut d'aliment fonctionnel. En effet, des études ont démontré que la consommation régulière de dattes contribue à améliorer les troubles métaboliques tels que la dyslipidémie et l'hyperglycémie, et joue un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Par ailleurs, les recherches ont mis en évidence les effets protecteurs des dattes sur le foie et les reins, leur capacité à lutter contre l'obésité, ainsi que leurs propriétés anti-inflammatoires et antitumorales, ce qui favorise la santé globale et la prévention des maladies chroniques. Ces bienfaits sont attribués à leur richesse en antioxydants tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques, qui réduisent le stress oxydatif et améliorent la fonction des enzymes antioxydantes dans l'organisme (**Abdul Awan et al., 2025**)

3.1.2 Le beurre de cacahuète :

Le beurre de cacahuète est une pâte alimentaire obtenue par torréfaction et broyage des amandes de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production commerciale du beurre de cacahuète nécessite un contrôle rigoureux des conditions de torréfaction et de broyage afin de maintenir la qualité du produit et de prévenir la contamination par les aflatoxines (**Aryana et al., 2006**).

Le beurre de cacahuète se caractérise par une teneur élevée en lipides bénéfiques pour la santé (environ 50 g pour 100 g), composés principalement d'acides gras monoinsaturés (acide oléique) et poly-insaturés. Il constitue également une source importante de protéines végétales (environ 25 g pour 100 g), de fibres alimentaires, ainsi que de nombreuses vitamines et minéraux tels que la vitamine E, le magnésium, le potassium et le cuivre (**Yauger, 2025**).

Le beurre de cacahuète offre de nombreux bienfaits pour la santé, soutenus par des études scientifiques. Il favorise la sensation de satiété, ce qui contribue à la gestion du poids lorsqu'il est consommé avec modération. Sa richesse en acides gras insaturés, en particulier l'acide oléique, aide à réduire le taux de cholestérol LDL (le « mauvais » cholestérol) et des triglycérides, tout en améliorant la pression artérielle, diminuant ainsi le risque de maladies cardiovasculaires. De plus, le beurre de cacahuète est pauvre en glucides et riche en protéines et en graisses saines, ce qui en fait un choix approprié pour aider à réguler la glycémie et réduire la résistance à l'insuline (**National Nutrition Council, 2022**).

Synthèse bibliographique

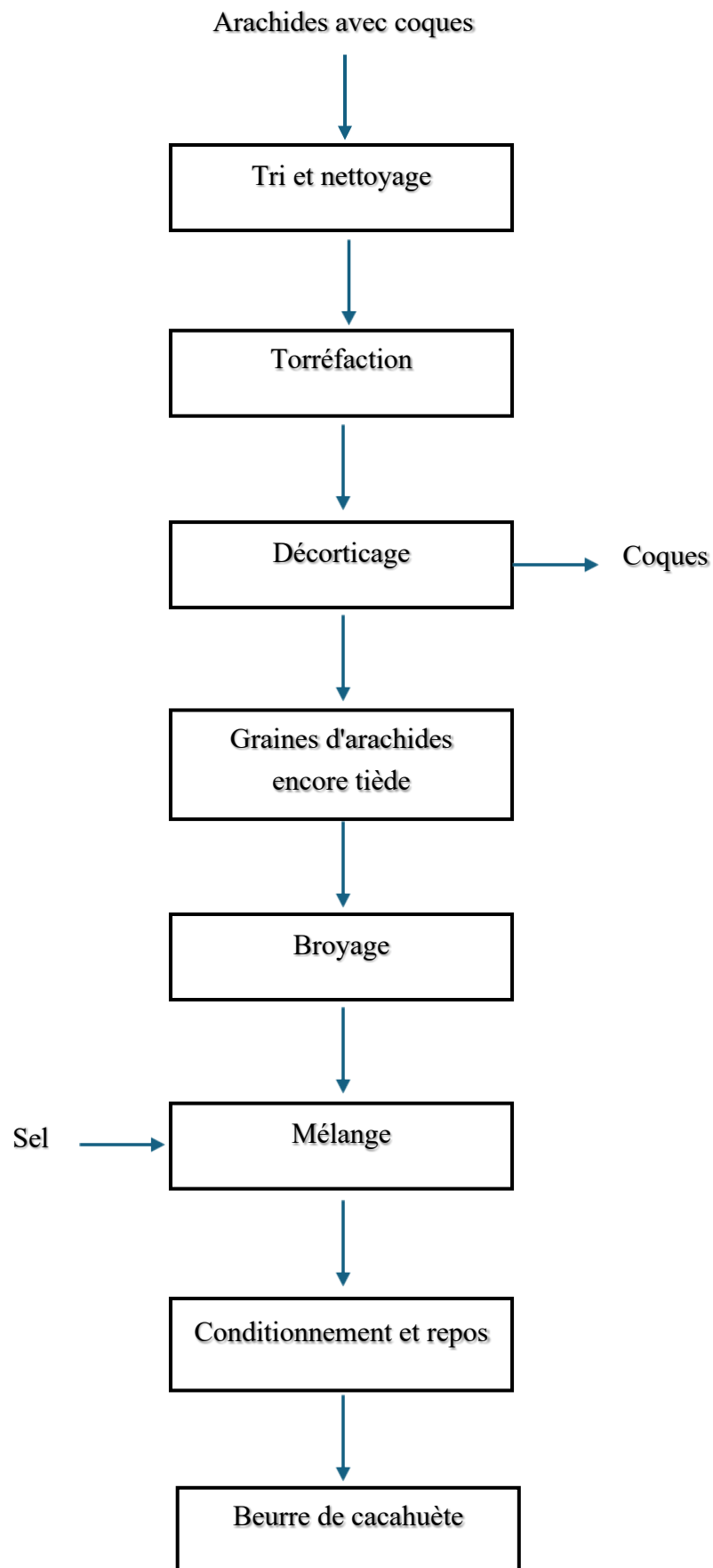


Figure 6 : schéma de procédé de fabrication du beurre d'arachide, étapes à suivre

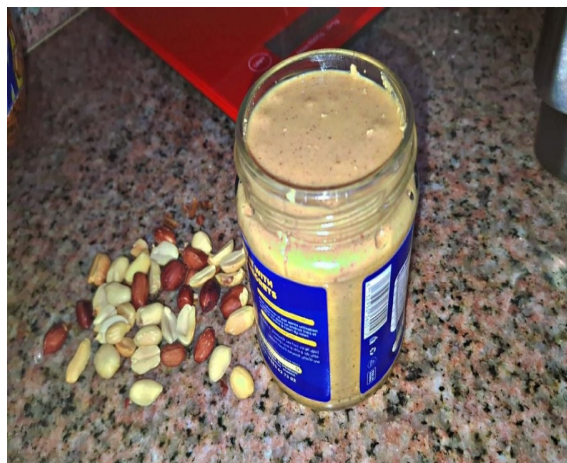


Figure 7 : Beurre de cacahuètes artisanal (photo originale)

3.2 Les ingrédients spécifiques pour chaque gamme :

La figure ci-dessous présente les différents ingrédients complémentaires utilisés pour l'élaboration des différentes gammes citées.

- Les noix (*Juglans regia*)



La noix se distingue par sa teneur élevée en acides gras polyinsaturés, en particulier en oméga-3 (acide alpha-linolénique), qui jouent un rôle bénéfique pour la santé cardiovasculaire. Elle renferme également des polyphénols dotés d'une activité antioxydante non négligeable (Ros, 2010).

- Les amandes (*Prunus dulcis*)



L'amande constitue une excellente source de vitamine E, de magnésium et de protéines végétales. Sa consommation régulière participe à la réduction du stress oxydatif et à l'amélioration du profil lipidique (Bolling et al., 2011).

- Les graines de sésame (*Sesamum indicum*, variétés blanche, brune et noire)



Les graines de sésame, qu'elles soient noires, blanches ou brunes, sont remarquablement riches en lignanes – notamment la sésamine et la sésamoline – reconnues pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Elles fournissent aussi du calcium, du fer et des lipides de bonne qualité nutritionnelle (**(Elleuch et al., 2007)**).

- Les graines de courge (*Cucurbita pepo*)



Elles se caractérisent par leur apport en zinc, en protéines et en acides gras insaturés. Elles contribuent de manière significative au renforcement du système immunitaire et à la santé de la prostate (**Glew et al, 2006**).

- Les graines de lin (*Linum usitatissimum*)



Les graines de lin sont particulièrement réputées pour leur richesse en fibres et en oméga-3. Elles aident à réguler le transit intestinal et à faire baisser le cholestérol sanguin (**Kajla et al., 2015**).

Synthèse bibliographique

- La cannelle (*Cinnamomum verum*/ *Cinnamomum cassia*).



La cannelle se distingue par ses effets antioxydants et sa capacité à contribuer à la régulation de la glycémie, ce qui en fait un ingrédient de choix dans la préparation de collations énergétiques (**Gruenwald et al., 2010**).

- Le raisin sec : *Vitis vinifera* (fruit séché)



Le raisin sec offre une source concentrée de glucides naturels, de fibres et de composés phénoliques. Il fournit une énergie rapidement mobilisable tout en exerçant une activité antioxydante intéressante (**Williamson et Carughi, 2010**).

- La noix de coco (*Cocos nucifera*)



Est appréciée pour sa richesse en acides gras saturés à chaîne moyenne (MCT), qui représentent une source d'énergie rapidement utilisable par l'organisme. Elle contient également des fibres favorisant la sensation de satiété (**DebMandal et Mandal, 2011**).

- Le Cacao (*Theobroma cacao*)



Le cacao est riche en flavonoïdes, en particulier en flavanols, qui améliorent la fonction vasculaire et possèdent d'importantes propriétés antioxydantes (**Katz et al., 2011**).

Synthèse bibliographique

- Graines de fenouil (*Foeniculum vulgare*)



Les graines de fenouil (*Foeniculum vulgare*) possèdent des propriétés digestives et carminatives, facilitant la digestion et réduisant les ballonnements grâce à leurs composés aromatiques (**Rather et al., 2016**).

- L'anis vert (*Pimpinella anisum*)



L'anis est reconnu pour ses effets bénéfiques sur le système digestif, notamment ses actions antispasmodique et antioxydante, qui favorisent le confort gastro-intestinal (**Shojaii et Fard, 2012**).

- L'avoine (*Avena sativa*)



L'avoine est une céréale particulièrement intéressante sur le plan nutritionnel, notamment grâce à sa richesse en fibres solubles, en particulier les β -glucanes, connus pour leur rôle dans la réduction du cholestérol sanguin et l'amélioration de la santé cardiovasculaire. Elle possède également un index glycémique modéré, ce qui favorise une libération progressive de l'énergie, idéale pour les collations énergétiques. Par ailleurs, l'avoine contient des protéines, des vitamines du groupe B, ainsi que des minéraux tels que le fer, le magnésium et le zinc (**Butt et al., 2008**).

Figure 8 : Les ingrédients supplémentaires des différentes gammes.

3.3. Les différentes gammes développées et leurs intérêt nutritionnel :

Les boules énergétiques ont été développées à partir d'une base commune constituée de dattes et de beurre de cacahuète. Cette association constitue un support idéal sur le plan technologique (texture liante, onctuosité) et nutritionnel (glucides naturels, protéines végétales, lipides insaturés). Chaque gamme est ensuite enrichie d'ingrédients complémentaires spécifiques, choisis pour leurs propriétés fonctionnelles et leurs bienfaits distinctes sur la santé.

A. La gamme « **Dark Power** » : Energie intense et protection antioxydante.

La formulation « **Dark Power** » associe à la base (dattes et beurre de cacahuète) deux ingrédients complémentaires : le cacao et le sésame noir. Cette gamme a été pensée pour délivrer un apport énergétique dense, renforcé par un complexe antioxydant puissant issu des flavonoïdes du cacao et des lignanes du sésame noir. Cette synergie vise à protéger le système cardiovasculaire et à favoriser la récupération cellulaire lors d'efforts courts et intenses (**Katz et al., 2011**); (**Pathak et al., 2014**).

- **Rôle du beurre de cacahuète** : Il apporte des protéines végétales et une proportion significative d'acides gras insaturés (acide oléique et linoléique), contribuant à la fois à l'apport énergétique et à la texture onctueuse de la préparation (**Arya et al., 2016**).

- **Apport du cacao** : Le cacao en poudre non alcalinisé (*Theobroma cacao*) est particulièrement riche en flavonoïdes, notamment les catéchines et épicatechines. Ces composés sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et vasodilatatrices, contribuant à la santé cardiovasculaire (**Katz et al., 2011**). Il est également une source notable de magnésium (~500 mg/100 g), un minéral essentiel à la relaxation musculaire et à la lutte contre la fatigue (**NaturaForce, 2024**)

- **Spécificité du sésame noir (*Sesamum indicum*)** : Cette variété se distingue par sa richesse exceptionnelle en calcium (jusqu'à 975 mg/100 g) et en lignanes (sésamine, sésamoline), des composés phénoliques aux propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Il contribue également à la teneur en fibres de la recette (**Pathak et al., 2014 ; Brousse, 2025**).

- **Profil nutritionnel et cible** : Cette combinaison offre une collation à l'énergie intense, au goût chocolaté corsé, idéale pour un apport rapide avant un entraînement court et puissant. Elle allie les glucides des dattes, les protéines du beurre de cacahuète et un puissant cocktail d'antioxydants (flavonoïdes du cacao, lignanes du sésame noir) favorisant la récupération et la protection cellulaire (**Alharbi et al., 2025**).

Synthèse bibliographique

B. La gamme « Cinnamon Energy » : Energie durable et régulation glycémique.

La formulation « Cinnamon Energy » enrichit la base (dattes et beurre de cacahuète) avec un ensemble d'ingrédients sélectionnés pour leurs effets bénéfiques sur l'endurance, la digestion et la stabilité de la glycémie : sésame brun, avoine, noix, cannelle et graines de lin. Cette gamme assure une énergie progressive et durable grâce à l'intégration de fibres solubles (bêta-glucanes de l'avoine et fibres de lin), de sésame brun et d'oméga-3 végétaux, contribuant ainsi à réguler la glycémie postprandiale et à prolonger la satiété (**Wood, 2010 ; Ranasinghe et al., 2013 ; Goyal et al., 2014**).

• **Rôle de l'avoine (*Avena sativa*)** : Elle est une source majeure de fibres solubles, en particulier les bêta-glucanes. Ces fibres sont reconnues pour leur capacité à réduire le cholestérol sanguin et à ralentir l'absorption des glucides, contribuant ainsi à une énergie plus durable et à une meilleure régulation glycémique (**Wood, 2010**).

• **Apport des graines de lin (*Linum usitatissimum*)** : Elles sont exceptionnellement riches en acide alpha-linolénique (ALA, un oméga-3 végétal) et en fibres solubles (environ 27 g/100 g). Cette combinaison favorise la satiété, régule le transit intestinal et apporte des propriétés anti-inflammatoires (**Goyal et al., 2014 ; Hajare et al., 2025**).

• **Spécificité de la cannelle (*Cinnamomum verum*)** : Elle contient des composés bioactifs comme le cinnamaldéhyde, dont des études ont suggéré la capacité à améliorer la sensibilité à l'insuline et à réduire la glycémie postprandiale (**Ranasinghe et al., 2013**).

• **Intérêt des noix** : Elles apportent des oméga-3 (ALA), des protéines (environ 15 g/100 g) et une texture croquante, renforçant le profil en acides gras essentiels de la gamme (**Lockyer et al., 2023**).

• **Rôle du sésame brun (*Sesamum indicum* variété brune)** : Il complète l'apport en fer (environ 14 mg/100 g), en fibres et en acides gras insaturés (**Brousse, 2025**).

• **Profil nutritionnel et cible** : Cette formulation vise une énergie plus progressive et prolongée, adaptée aux efforts d'endurance. La synergie entre les fibres de l'avoine et du lin, les oméga-3 des noix et du lin, et les propriétés de la cannelle en fait une collation anti-inflammatoire, coupe-faim et favorable à la santé métabolique, avec des notes épicées et une texture croquante (**Hajare et al., 2025**).

Synthèse bibliographique

C. La gamme « Pearl Energy » : Douceur lactée et vitalité osseuse.

La formulation « Pearl Energy » associe à la base (dattes et beurre de cacahuète) trois ingrédients complémentaires : le sésame blanc, la noix de coco et l'amande. Cette combinaison vise une collation douce, onctueuse et particulièrement riche en minéraux essentiels. Cette gamme se positionne comme une solution « bien-être » dédiée à la santé osseuse et à la vitalité cérébrale. Elle optimise l'apport en calcium et en cuivre via le sésame blanc, tandis que les triglycérides à chaîne moyenne (TCM) de la noix de coco fournissent un carburant rapidement mobilisable (Chen et al., 2006 ; Marten et al., 2006 ; Brousse, 2025).

· **Rôle du beurre de cacahuète** : il fournit la matrice onctueuse de base et un apport en protéines végétales et acides gras insaturés qui sera complété par le profil lipidique des amandes et de la noix de coco (Arya et al., 2016).

· **Spécificité du sésame blanc (*Sesamum indicum variété blanche*)** : Cette variété se distingue par sa richesse exceptionnelle en calcium biodisponible (environ 975 mg/100 g) et en cuivre, un minéral essentiel à la formation du collagène et à la santé des os. Le sésame blanc apporte également des lignanes aux propriétés antioxydantes, contribuant à la protection cellulaire (Brousse, 2025).

· **Apport de la noix de coco (*Cocos nucifera*)** : Utilisée sous forme de noix de coco râpée non sucrée, elle est riche en fibres alimentaires et en triglycérides à chaîne moyenne (TCM). Ces lipides particuliers sont métabolisés rapidement par le foie, constituant une source d'énergie rapidement disponible pour le cerveau et les muscles (Marten et al., 2006). Elle confère également une texture fondante et une douceur naturelle à la préparation.

· **Intérêt de l'amande (*Prunus dulcis*)** : L'amande est une excellente source de vitamine E (alpha-tocophérol), un antioxydant majeur protégeant les membranes cellulaires du stress oxydatif. Elle apporte également du magnésium, du calcium et des protéines (~21 g/100 g), renforçant ainsi le profil nutritionnel global de la gamme (Chen et al., 2006). Sa texture croquante contraste agréablement avec le fondant des dattes.

· **Profil nutritionnel et cible** : « Pearl Energy » se positionne comme une collation « bien-être » axée sur la santé osseuse et la vitalité au quotidien. L'association sésame blanc-amande constitue un concentré naturel de calcium et de magnésium, tandis que les TCM de la noix de coco offrent une énergie rapidement mobilisable. Sa douceur naturelle et sa texture délicate en font une collation adaptée à toute la famille, idéale pour une pause gourmande et revitalisante (Alharbi et al., 2025).

Synthèse bibliographique

D. La gamme « Green Power » : Tonicité minérale et récupération musculaire.

La formulation « Green Power » enrichit la base (dattes et beurre de cacahuète) avec un ensemble d'ingrédients sélectionnés pour leurs propriétés reminéralisantes, énergisantes et favorables à la fonction musculaire : graines de courge, raisins secs, graines de fenugrec, graines de nigelle (Habbat el baraka), graines de fenouil et graines d'anis vert. Elle favorise la reminéralisation et la récupération musculaire. En associant zinc, magnésium et fer issus des graines de courge et de raisins secs qui sont une source d'énergie rapide, riche en glucides naturels, fibres et minéraux essentiels, contribuant au bon fonctionnement de l'organisme et à la santé globale du fenouil et de l'anis vert améliorent l'assimilation des micronutriments (**Fruhworth et Hermetter, 2007 ; Williamson et Carughi, 2010; Hajare et al., 2025**).

· ***Spécificité des graines de courge (Cucurbita pepo)*** : Elles sont exceptionnellement riches en zinc (environ 7-10 mg/100 g), un minéral essentiel à la fonction immunitaire et à la synthèse protéique, ainsi qu'en magnésium, impliqué dans la relaxation musculaire et la réduction des crampes. Leur teneur en fer contribue également à prévenir la fatigue (**Fruhworth et Hermetter, 2007**)

· ***Apport des raisins secs*** : Issus du séchage du raisin (*Vitis vinifera*), ils concentrent les glucides naturels (fructose et glucose) pour un apport énergétique immédiat. Ils sont également une source de bore, un oligo-élément impliqué dans le métabolisme osseux et la santé articulaire, et de composés phénoliques aux propriétés antioxydantes (**Williamson et Carughi, 2010**).

· ***Apport du fenouil (Foeniculum vulgare) et de l'anis vert (Pimpinella anisum)*** : Ces deux graines sont intégrées pour leurs propriétés digestives et carminatives, facilitant l'assimilation des nutriments et prévenant les ballonnements souvent associés aux collations riches en fibres et en protéines. Leur teneur en composés phénoliques (notamment l'anéthole) leur confère également des propriétés antioxydantes. Sur le plan gustatif, elles apportent une fraîcheur anisée subtile et raffinée, qui équilibre la puissance des autres graines et confère à la gamme Green Power une identité aromatique unique (**Alharbi et al., 2025**).

· ***Profil nutritionnel et cible*** : « Green Power » est une formulation "Tonus" pensée pour soutenir l'activité physique et la récupération musculaire. La synergie entre le zinc des graines de courge, le fer des raisins secs et du fenugrec, et les propriétés anti-inflammatoires de la nigelle en fait une collation de choix pour les sportifs ou les personnes convalescentes. L'ajout du fenouil et de l'anis vert optimise la digestion et le confort intestinal après l'effort. Elle associe l'énergie rapide des raisins secs à un apport minéral complet pour lutter contre la fatigue et favoriser la régénération tissulaire, le tout dans une expérience gustative fraîche et complexe (**Alharbi et al., 2025 ; Hajare et al., 2025**).

**PARTIE
EXPERIMENTALE**

Partie Expérimental

Ce travail consiste à élaborer des boules énergétiques alternatives aux produits énergétiques du commerce, à partir d'ingrédients naturels. Il a été réalisé durant le mois de Mars, Avril et Mai 2026. Les différentes analyses effectuées ont été réalisés au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté SNV, Université de Tlemcen.

1. Matières premières utilisées :

Les matières premières utilisées dans cette étude ont été soigneusement sélectionnées pour leurs qualités nutritionnelles, leurs propriétés fonctionnelles (texture, cohésion, conservation) ainsi que pour leur disponibilité sur le marché local de Tlemcen, à l'exception du sésame noir, n'étant pas disponible sur le marché, nous l'avons donc rapporté de France.

Les différents ingrédients consistent en ingrédients de base qui sont les dattes et le beurre de cacahuète et des ingrédients complémentaires : des graines (noix, amandes, graines de sésame, etc.), la noix de coco, du raisin sec, de la cannelle et de l'avoine.

Des détails de chaque ingrédient sont présentés ci-dessous :

- **Dattes** : Elles sont lavées, dénoyautées puis soigneusement écrasées avant incorporation.
- **Cacahuètes (arachides)** : Les cacahuètes entières non salées sont triées et débarrassées de leurs coques et impuretés, ce beurre apporte des protéines végétales, des lipides insaturés (acide oléique et linoléique).
- **Noix** : Ils ne subissent aucun traitement thermique avant utilisation, afin de préserver leurs acides gras polyinsaturés (oméga-3). Les noix sont ajoutées pour leur croquant et leur teneur en antioxydants (polyphénols).
- **Amandes** : Elles ne sont pas torréfiées afin de conserver leur vitamine E naturelle.
- **Sésame noir** : Il se distingue par sa richesse exceptionnelle en calcium, en fer et en lignanes (sésamine, sésamoline) aux propriétés antioxydantes. Il est utilisé pour sa valeur minérale et sa couleur caractéristique.
- **Sésame blanc** : Il est riche en calcium biodisponible, en cuivre et en phytostérols. Il est ajouté pour ses propriétés reminéralisantes.
- **Sésame brun** : Cette variété intermédiaire apporte du fer, des fibres et des acides gras insaturés.
- **Graines de courge** : Elles sont exceptionnellement riches en zinc (7 à 10 mg/100 g) et en magnésium. Elles sont ajoutées pour leur rôle dans l'immunité et la relaxation musculaire.

Partie Expérimental

- **Graines de lin** : Elles sont riches en acide alpha-linolénique (ALA, un oméga-3 végétal) et en fibres solubles (mucilages). Elles confèrent des propriétés anti-inflammatoires.
- **Graines de fenouil** : Elles apportent une note anisée subtile et des propriétés carminatives (anéthole), facilitant ainsi la digestion des boules énergétiques riches en fibres.
- **Graines d'anis vert** : Cette variété a une composition aromatique, proche de celle du fenouil mais plus intense, est accompagnée de composés phénoliques antioxydants.
- **Raisin sec** : Ils concentrent les sucres naturels (fructose, glucose) pour un apport énergétique immédiat et constituent un édulcorant naturel complémentaire aux dattes.
- **Avoine** : Elle est riche en bêta-glucanes, des fibres solubles qui ralentissent l'absorption des glucides et contribuent à une énergie durable.
- **Cacao** : Elle est employée pour aromatiser et colorer naturellement les boules énergétiques. Le cacao apporte des flavanols aux propriétés antioxydantes et une légère amertume qui équilibre la douceur des dattes.
- **Cannelle** : La cannelle en poudre provient de l'écorce de *Cinnamomum verum*. Elle offre des arômes chauds et des composés bioactifs (cinnamaldéhyde) aux effets potentiels sur la régulation de la glycémie.
- **Noix de coco** : Elle apporte des triglycérides à chaîne moyenne (TCM), rapidement métabolisés par le foie pour fournir une énergie disponible, ainsi qu'une texture fondante et une douceur naturelle.

2. Matériel utilisé :

La préparation des matières premières et le façonnage des boules énergétiques ont nécessité l'utilisation de plusieurs équipements et petits ustensiles. Ces outils ont été choisis pour leur efficacité, leur facilité de nettoyage et leur capacité à préserver les qualités nutritionnelles des ingrédients. Ils se répartissent en quatre catégories : la préparation des solides, le broyage et le mélange, le façonnage, et la conservation.

- **Four électrique** : pour torréfier les cacahuètes (180 °C pendant 20 min), le sésame noir et brun (160 °C pendant 10 minutes), ainsi que les flocons d'avoine et les graines de lin.
- **Moulin électrique** : pour moulin les graines de fenouil, l'anis vert et la cannelle.
- **Hachoir électrique** : pour la préparation du beurre de cacahuètes, découpage des dattes et des raisins secs, et le mélange des différents ingrédients.
- **Balance électronique** : pour la pesée des ingrédients

Partie Expérimental

- **Passoires et tamis** : pour laver les dattes et les raisins secs, et tamiser le cacao.
- **Grand saladier en verre** : pour rassembler tous les ingrédients.
- **Couteau et Spatule** : pour le mélange.

Remarque : Tous les ustensiles en contact avec les ingrédients (couteaux, saladiers, hachoir, etc.) ont été soigneusement lavés et séchés avant utilisation pour éviter toute contamination croisée et ne pas altérer les propriétés nutritionnelles.

3. Méthodes de préparation :

3.1 Fabrication du beurre de cacahuète artisanal :

La fabrication d'un beurre de cacahuètes d'une texture crémeuse et très onctueuse, sans conservateur, ni additif ou sucre ajoutés, comprend les étapes suivantes :

- Tout d'abord, les cacahuètes entières non salées ont été torréfiées sur une plaque dans un four électrique à une température de 180 °C pendant 20 min (Figure 9).



Figure 9 : Torréfaction des cacahuètes.

- Ensuite, les graines de cacahuètes, encore tièdes, ont été placées dans un mortier électrique ou un hachoir, et une pincée de sel y a été ajoutée. Puis l'appareil a été actionné par intervalles jusqu'à ce que les cacahuètes se transforment en une pâte lisse et homogène.
- Le broyage a été effectué immédiatement après la torréfaction, afin de faciliter l'extraction des huiles naturelles contenues dans les cacahuètes (Figure 10).

Partie Expérimental



Figure 10 : La pâte de beurre de cacahuètes.

- Le beurre de cacahuète artisanal ainsi obtenu a été transféré dans un bocal en verre hermétique pour le préserver de l'air et de la lumière et éviter la détérioration des acides gras insaturés. Puis, il a été placé au réfrigérateur à une température de + 4 °C jusqu'à son incorporation dans la pâte principale.



Figure 11 : Stockage du beurre de cacahuètes en bocal de verre.

3.2 Formulation et façonnage des boules énergétiques :

Nous avons ensuite procédé à la fabrication de quatre variétés (gammes) de boules énergétiques. Pour déterminer les quantités exactes de chaque ingrédient, nous avons procédé à des essais préliminaires, en fonction de la texture et du goût final obtenu. Ainsi, pour chaque gamme, tous les ingrédients ont été pesés, puis mélangés ensemble en une seule fois, et la pâte obtenue a été façonnée manuellement en boules d'un poids unitaire de 23 grammes.

A. La gamme « *Dark Power* » :

Partie Expérimental

Pour cette première gamme, nous avons mélangé des dattes soigneusement lavées et dénoyautées avec du beurre de cacahuète artisanal, du sésame noir et du cacao brut (tableau 2). L'ensemble a été homogénéisé jusqu'à l'obtention d'une pâte, à partir de laquelle nous avons façonner des boules de 23 g .

B. La gamme « *Cinnamon Energy* » :

La deuxième préparation a réuni des dattes, du beurre de cacahuète, des noix, du sésame brun finement moulu, des graines de lin également moulues, des flocons d'avoine et de la cannelle. Tous ces ingrédients ont été intimement mélangés pour former une pâte. Après façonnage, nous avons obtenu des boules de 23 g .

B. La gamme « *Pearl energy* » :

La troisième gamme a été élaborée à partir de dattes et du beurre de cacahuètes, auxquels ont été ajoutées des amandes légèrement moulues, de la poudre de noix de coco et du sésame blanc. Après mélange et homogénéisation, la pâte a servie à façonner des boules de 23 g .

C. La gamme « *Green Power* » :

Enfin, la quatrième préparation a nécessité des dattes, des graines de courge, de l'anis vert, des graines de fenouil, des raisins secs préalablement trempés dans l'eau tiède et du beurre de cacahuètes. La pâte obtenue de ce mélange a été façonnée en boules de 23 g .

**Préparation des ingrédients de base :
Dattes et Beurre de cacahuète**

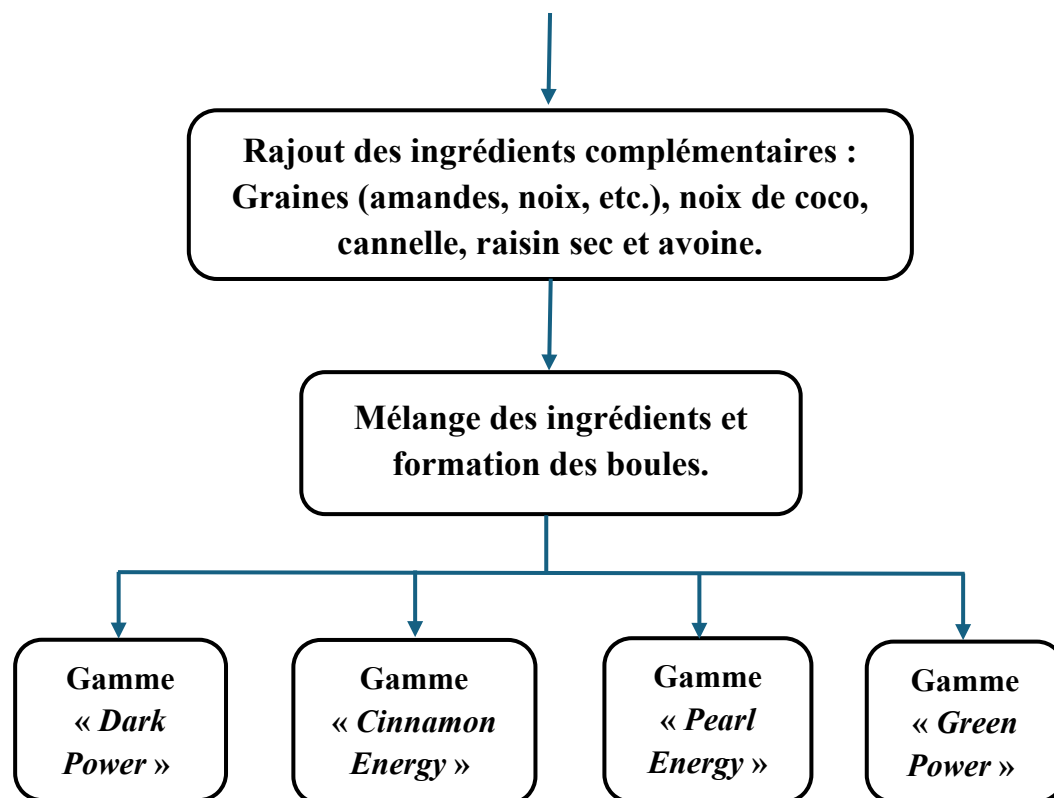


Figure 12 : Schéma récapitulatif de formulation des quatre gammes de boules énergétiques.

3. Les analyses physico-chimiques

Les boules énergétiques des quatre gammes développées ont été soumises à des analyses physico-chimiques afin d'évaluer certains paramètres de qualité. Les critères retenus sont : la mesure du pH, de l'extrait sec total (EST), et la détermination de la composition en glucides, protéines, lipides et la valeur énergétique.

3.1. Détermination du pH

A. Principe :

La mesure du pH permet d'apprécier l'acidité du produit. Pour les préparations à base de fruits secs et d'oléagineux, cette analyse contribue à évaluer la stabilité et la fraîcheur des boules énergétiques. La valeur du pH est déterminée par potentiométrie à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné.

B. Matériel et produits utilisés :

Partie Expérimental

- pH-mètre (modèle OHAUS STARTER 3100, équipé d'une électrode)



Figure 13 : Mesure de pH avec un pH mètre (photo originale)

- Petits béchers en verre (50 mL), propres et secs
- Eau distillée ou déminéralisée
- Papier absorbant non pelucheux

C. Mode opératoire :

La mesure du pH a été réalisée séparément pour chaque gamme de boules énergétiques.

. Préparation de l'échantillon :

Une petite cuillère (environ 10 g) de boules énergétiques issues d'une même gamme a été prélevée, puis écrasée et diluée dans un petit bêcher contenant un volume fixe d'eau distillée (environ 50 mL). Le mélange a été agité vigoureusement pendant 2 minutes pour obtenir une suspension homogène.

. Mesure :

L'électrode du pH-mètre, préalablement rincée à l'eau distillée et soigneusement séchée avec du papier absorbant, a été immergée dans la suspension de l'échantillon. La valeur du pH a été lue sur l'écran numérique après stabilisation complète du signal.

3.2. Détermination de l'extrait sec total (EST) :

A. Principe :

La détermination de l'extrait sec total (ou teneur en matière sèche) consiste à mesurer le résidu sec restant après évaporation complète de l'eau contenue dans l'échantillon. Cette matière sèche représente principalement le contenu en nutriments (glucides, lipides, protéines, fibres, minéraux). Elle a été réalisée par étuvage à 105 ± 1 °C.

B. Matériel et produits utilisés :

Partie Expérimental

- Balance de précision (sensibilité à 0,001 g) avec fonction de tare
- Boîtes de Pétri en verre, préalablement nettoyées et séchées
- Spatule
- Étuve réglée à $105 \pm 1^\circ\text{C}$

C. Mode opératoire :

L'opération a été réalisée séparément pour chacune des quatre gammes de boules énergétiques.

. Une boîte de Pétri propre et parfaitement sèche a été déposée sur la balance, la boîte a été pesée et sa masse a été enregistrée. Noter cette masse (M1).

. Environ 10 g de boules énergétiques (préalablement homogénéisées) ont été introduits dans la boîte de Pétri. La balance affichait alors directement la masse de l'échantillon.

Noter la masse (M2) qui égale : (M1) + la masse de l'échantillon humide (10 g).

. La boîte de Pétri, ouverte et posée sur sa base, a été placée dans l'étuve préchauffée à $105 \pm 1^\circ\text{C}$.

Le séchage a été maintenu pendant 6 heures afin d'assurer l'élimination complète de l'eau.

. Après l'étuvage, la boîte a été retirée de l'étuve et laissée refroidir à température ambiante (environ 30 minutes) sur un plan de travail propre et sec.

. La boîte contenant le résidu sec a ensuite été replacée sur la balance. Noter cette masse M3.

D. Lecture de résultats :

La teneur en extrait sec de l'échantillon est égale à :

$$\text{EST (\%)} = (M3 - M1) \times 100 / M2$$

Avec :

M1 : le poids de la boîte vide.

M2 : le poids de la boîte de Pétri + le poids
d'échantillon avant étuvage (humide) ;

M3 : le poids de la boîte plus celui d'échantillon
après étuvage.



**Figure 14 : séchage des échantillons
(Photo originale)**

3.3 Détermination de la composition en glucides, protéines, lipides et valeur énergétique :

Partie Expérimental

Concernant la détermination de la composition en glucides, protéines et lipides ainsi que la valeur énergétique des différents gammes élaborées, nous les avons calculés grâce la table de composition alimentaire (Ciqal) de « l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, 2026). Cette table, continuellement mise à jour, peut être consultée directement sur le site de l'Agence (site en références). Ceci pour cause de difficulté d'effectuer les analyses correspondantes par manque de produits.

4. L'Analyse microbiologique :

L'analyse microbiologique des boules énergétiques constitue une étape cruciale permettant de détecter et de quantifier les populations microbiennes capables de s'y développer. Elle joue un rôle essentiel pour assurer la qualité du produit et sa conformité aux normes réglementaires, ainsi que la garantie de la sécurité et la santé des consommateurs.

4.1. Matériel et milieux de culture utilisés :

- | | |
|------------------------------|---|
| - Tubes à essai | - Eau physiologique stérile (Pour préparer les dilutions) |
| - Pipettes graduées stériles | - Gélose TGEA (pour la recherche de la flore totale) |
| - Pipettes Pasteur | - Gélose Mac Conkey (pour la recherche des entérobactéries) |
| - Boîtes de Pétri | - Gélose Chapman (pour la recherche des staphylocoques) |
| - Bec bunsen | - Gélose Sabouraud (pour la recherche des levures) |
| | - Gélose PDA (pour la recherche des moisissures). |

4.2. Préparation des dilutions décimales pour analyse :

- On prépare une série de dilutions de (10^{-1}) à (10^{-3}) pour chaque échantillon de chaque gamme.
- Peser 1g de chaque gamme de boules énergétiques à l'aide d'une balance, puis verser, aseptiquement, la quantité dans un tube contenant 9 ml de diluant (eau physiologique stérile). Homogénéiser la solution par un agitateur vortex, c'est la dilution N°1 (10^{-1}).
- À partir de cette solution mère, les dilutions décimales ont été préparées par transfert successif de 1 ml de la solution précédente dans un nouveau tube contenant 9 ml de diluant. On obtient successivement les deux autres dilutions : 1/100 (10^{-2}) et 1/1000 (10^{-3}).

4.3. Recherche et dénombrement de la flore aérobique mésophile totale (FAMT) :

Partie Expérimental

- On transfère 1 ml de dilution (10^{-3}) dans les boîtes de Pétri vides et stériles.
- On ajoute 15 ml de milieu de culture TGEA, fondu et maintenu à 45°C, dans les boîtes.
- Ensuite, le mélange est homogénéisé soigneusement par des mouvements circulaires en forme de huit (8) pour bien mélanger la gélose avec l'inoculum et on laisse refroidir les boîtes jusqu'à ce que le contenu devienne solide.
- l'incubation des boîtes se fait à 37°C pendant 24 à 48 h.

4.4. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus* :

- Un volume de 1 ml de la dilution (10^{-1}) est transféré à l'aide d'une pipette stérile dans une boîte de Pétri vide. Puis, 15 ml de gélose Chapman à 45°C sont ajoutés et mélangés avec l'inoculum comme précédemment et laissé se solidifier.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 h.

4.5. Recherche et dénombrement des entérobactéries :

- Un volume de 1 ml de la dilution (10^{-2}) est transféré à l'aide d'une pipette stérile dans une boîte de Pétri vide. Puis, 15 ml de gélose Mac Conkey à 45°C sont ajoutés et mélangés avec l'inoculum comme précédemment et laissé se solidifier.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 h.

4.6. Recherche et dénombrement des levures :

- Un volume de 1 ml de la dilution (10^{-2}) est transféré à l'aide d'une pipette stérile dans une boîte de Pétri vide. Puis, 15 ml de gélose Sabouraud à 45°C sont ajoutés et mélangés avec l'inoculum comme précédemment et laissé se solidifier.
- L'incubation se fait à 30°C pendant 24 à 48 h.

4.7. Recherche et dénombrement des moisissures :

- Environ 15 à 20 ml de gélose PDA, préalablement liquéfiée, sont versés dans des boîtes de Pétri stériles, puis laissées se solidifier à température ambiante.
- Puis, 0,1 ml de la dilution (10^{-2}) est transféré, à l'aide d'une pipette stérile, sur la surface du milieu solidifié. L'inoculum a été étalé uniformément grâce à une pipette râteau stérile.
- L'incubation des boîtes se fait à 30°C pendant 48 à 72 h.

4.8. Lecture des résultats :

Après incubation, les colonies caractéristiques apparues sont dénombrées, puis la charge des microorganismes est rapportée en UFC/g d'échantillon des différentes gammes.

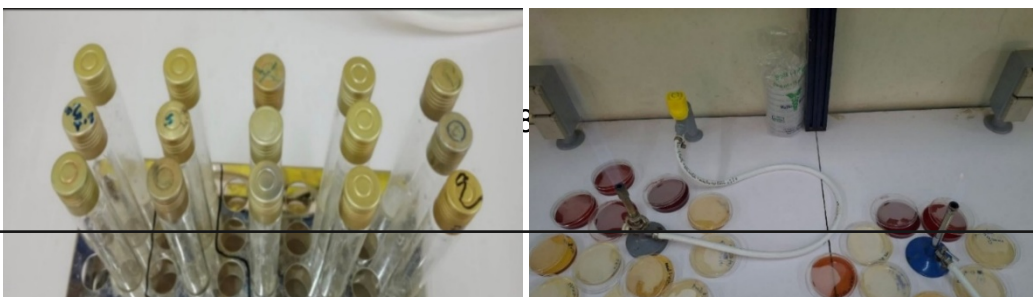


Figure 15 : Analyses microbiologiques des différentes gammes des boules énergétiques.
(Photo originale)

5. Analyse sensorielle :

L'évaluation sensorielle des aliments est une démarche scientifique qui consiste à mesurer, analyser, décrire et interpréter les réactions humaines face aux caractéristiques d'un produit, telles qu'elles sont perçues par les cinq sens : vue, odorat, goût, toucher et ouïe. Elle repose sur l'interprétation des réponses obtenues, que ce soit par des experts en analyse sensorielle ou par des consommateurs naïfs **(Stone et Sidel, 2004)**.

Parmi les méthodes utilisées, on distingue les tests analytiques (comme QDA), qui visent à décrire précisément les attributs sensoriels d'un produit à l'aide de panels entraînés, et les tests hédoniques, qui évaluent le degré de satisfaction ou de rejet chez des consommateurs non entraînés. Les tests de préférence occupent également une place centrale dans l'étude des comportements des consommateurs. Ils consistent à présenter deux échantillons ou plus à des sujets afin de déterminer lequel est préféré selon des critères donnés (goût, appréciation générale, odeur, consistance, texture, couleur) **(Majou et al, 2001)**.

La réussite de l'étude sensorielle dépend largement de la qualité du questionnaire et des conditions d'administration (environnement neutre, consignes précises, absence de suggestion). Enfin, parmi les principales caractéristiques sensorielles évaluées lors de l'analyse du produit figurent la couleur, la consistance, le goût et l'odeur. Ces attributs représentent les premières perceptions de l'utilisateur et jouent un rôle clé dans l'expérience du produit alimentaire **(Yang et Lee, 2019)**.

RESULTATS
ET DISCUSSION

1.Présentation des boules énergétiques produites :

Les boules énergétiques ont été formulées à partir d'une matrice commune composée de dattes et de beurre de cacahuète artisanal, chaque variété ayant été enrichie par des ingrédients spécifiques. Quatre formulations ont été développées : « Dark Power » (cacao et sésame noir), « Cinnamon Energy » (flocons d'avoine, noix, sésame brun, graines de lin et cannelle), « Pearl Energy » (amande, noix de coco et sésame blanc) et « Green Power » (graines de courge, raisins secs, fenouil et anis vert).

1. Gamme « Dark Power » : Une boule noire homogène à la texture dense et fondante.

Cette première variété se reconnaît immédiatement par sa couleur sombre, presque noire, parfaitement uniforme sur toute la surface et à l'intérieur. Aucune tache, marbrure ou irrégularité n'est visible, ce qui indique un mélange très homogène des ingrédients (cacao brut et sésame noir). La texture est à la fois dense et souple : elle résiste légèrement sous les doigts mais devient fondante dès la mise en bouche, grâce au beurre de cacahuète. On ne perçoit aucun grain ni sableux, la préparation est lisse.

La surface est compacte, sans bulles d'air ni fissures, signe d'une compression maîtrisée et d'une bonne cohésion de la pâte. Cette boule ne s'effrite pas lorsqu'on la coupe ou la manipule. Son humidité est bien équilibrée, ce qui évite un effet trop sec ou trop collant. Sur le plan nutritionnel, cette gamme se distingue par sa saveur intense de cacao et ses propriétés antioxydantes remarquables, intéressantes pour lutter contre le stress oxydatif.



Figure 16 : Gamme « Dark Power ».

Résultats et discussion

2. Gamme « Cinnamon Energy » : Une boule brune granuleuse qui libère son énergie progressivement.

Contrairement à la précédente qui était lisse, cette gamme présente une texture légèrement granuleuse en bouche, sans pour autant être désagréable. Sa couleur est brune uniforme, parsemée de fines particules brunâtres (flocons d'avoine et graines de lin broyées) ainsi que de petits fragments visibles de noix. Ces éléments sont répartis de façon homogène dans toute la matrice, sans créer de zones vides ou de grumeaux. La surface est régulière mais avec un très faible relief à cause des éclats de noix ; toutefois, on n'observe ni déformation, ni cavité gazeuse, ni fissure.

La consistance à la fois résistante et souple : la boule résiste à la pression mais se laisse couper facilement sans s'effriter. Pendant la mastication, elle reste moelleuse grâce à l'avoine. Les arômes chauds de cannelle dominant, bien intégrés sans masquer les autres ingrédients. C'est d'ailleurs grâce à ces arômes chauds de cannelle que cette gamme porte le nom de « Cinnamon Energy ». L'intérêt majeur de cette gamme est sa capacité à fournir une énergie durable, grâce aux flocons d'avoine et aux graines de lin qui ralentissent la digestion et libèrent les sucres progressivement. Elle convient particulièrement aux efforts physiques prolongés.



Figure 17 : Gamme « Cinnamon Energy ».

3. Gamme « Pearl Energy » : Une boule blanc nacré à la texture crémeuse et riche en calcium.

Ici, l'aspect visuel est totalement différent : la boule affiche une couleur blanc cassé lumineuse, évoquant une perle fine (d'où son nom). On distingue de fins copeaux blancs (noix de coco râpée) et des morceaux d'amandes visibles, tous répartis uniformément sans contraste brutal. La texture est lisse, crémeuse et fondante en bouche, sans aucune sensation de sableux ou de granularité.

Résultats et discussion

Ce comportement vient de la synergie entre le beurre de cacahuète, la noix de coco et le sésame blanc. La surface est compacte, régulière, sans rugosité ni bulles. La consistance est ferme mais très malléable : on peut la façonner avec précision sans qu'elle se casse, et elle garde parfaitement sa forme dans le temps. L'humidité est bien contrôlée, ce qui évite un dessèchement rapide. Sur le plan nutritionnel, cette gamme se caractérise par sa richesse en calcium biodisponible (grâce au sésame blanc et à la noix de coco) et en acides gras à chaîne moyenne, facilement utilisables par l'organisme comme source d'énergie rapide. Son goût est doux et légèrement sucré naturellement.



Figure 18 : Gamme « Pearl Energy ».

4. Gamme « Green Power » : Une boule verte tachetée, croquante et très riche en minéraux et fibres.

Cette dernière variété se singularise par sa couleur verte originale, ponctuée de petites tachetures vert plus foncé correspondant aux graines de fenouil, d'anis et de courge légèrement broyées. Ces inclusions sont réparties avec précision et homogénéité, sans former de motifs disgracieux. La texture est légèrement croustillante à cause des graines, mais globalement tendre et homogène. La surface est régulière, avec une très fine micro-granularité, mais sans bulles ni déformations macroscopiques.

La boule est légèrement plus humide, ce qui lui donne une sensation de fraîcheur en bouche. Les notes anisées sont subtiles et agréables, sans être dominantes. L'atout majeur de cette gamme est son exceptionnelle richesse en zinc, magnésium et fibres digestives. Le zinc et le magnésium participent au bon fonctionnement musculaire et immunitaire, tandis que les fibres favorisent le transit intestinal. Elle est donc particulièrement adaptée aux personnes cherchant à la fois un apport minéral et un confort digestif.

Résultats et discussion



Figure 19 : Gamme « Green Power ».

2. Résultats des analyses physico-chimiques :

Le tableau ci-dessous représente les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus pour différents échantillons des boules énergétiques, mettant en valeur les variations du pH, et de l'extrait sec total des 8 échantillons des gammes des boules d'énergie élaborés : gamme « *Dark Power* », gamme « *Cinnamon Energy* », gamme « *Pearl Energy* », gamme « *Green Power* ».

Tableau 2 : Les résultats des analyses physico-chimiques.

Paramètres Physico-Chimiques	Gamme <i>Dark Power</i>	Gamme <i>Cinnamon Energy</i>	Gamme <i>Pearl Energy</i>	Gamme <i>Green Power</i>
pH	6,03	6,32	6,51	6,43
Extrait Sec Total (EST%)	83,49	84,80	84,96	85,13
Glucides Totaux (g)	51,1	51,2	35,3	39,7
Protéines Totales (g)	6,8	7,8	9,9	10,7
Lipides Totaux (g)	11,0	14,8	24,0	19,4
Valeur énergétique (Kcal /100 g)	330,6	369,2	396,8	376,2

Energy (Kcal) = [Protéines(g) × 4] + [Glucides(g) × 4] + [Lipides(g) × 9]; Les valeurs nutritionnelles ont été estimées à partir des données de la table de composition nutritionnelle (Ciqua) (ANSES, 2026) et calculées selon les proportions des ingrédients utilisés dans chaque formulation. Elles sont exprimées en (g/100g du produit).

Résultats et discussion

2.1 Le pH :

L'histogramme ci-dessus présente les résultats en valeurs de pH obtenues pour les différentes formulations de boules énergétiques élaborées.

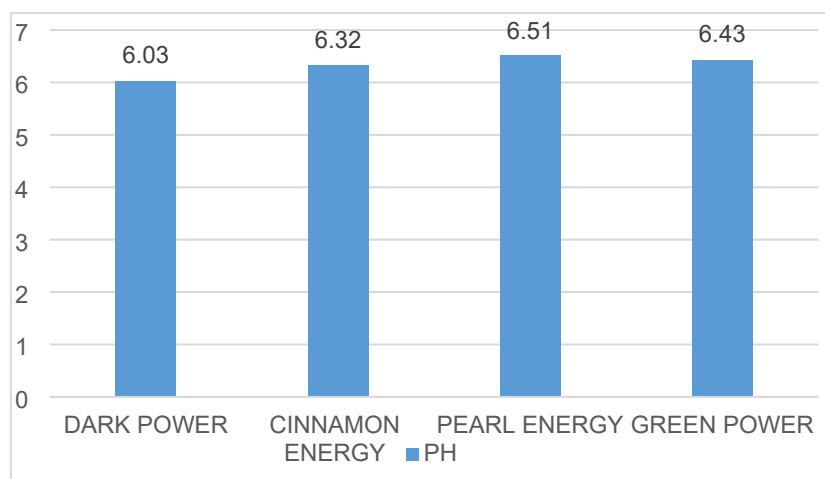


Figure 20 : Résultats en valeurs de pH des boules énergétiques.

Les valeurs de pH enregistrées varient entre 6,03 et 6,51, avec la valeur la plus faible observée pour la gamme Dark Power (6,03) et la plus élevée pour la gamme Pearl Energy (6,51). (Figure 20). Ces résultats montrent que l'ensemble des formulations possèdent un pH très légèrement acide à quasi neutre, ce qui est caractéristique des produits à base de céréales, fruits secs et oléagineux. Cette plage de pH est cohérente avec les observations rapportées par **Mridula et al, (2013)**, dans leur étude sur des barres nutritionnelles à base de céréales et de légumineuses, où les valeurs de pH variaient entre 5,8 et 6,4 selon la formulation utilisée.

De même **Ranjana et al, (2015)**, ont rapporté, dans une étude portant sur des snack-bars enrichis en fruits secs et graines, des valeurs de pH comprises entre 6,1 et 6,5, similaires à celles obtenues dans notre travail. Les auteurs ont attribué ces variations à la proportion des ingrédients riches en fibres, ainsi qu'à la présence de composés phénoliques naturels influençant légèrement l'acidité du produit.

La valeur de pH relativement plus faible observée pour la gamme Dark Power pourrait être expliquée par la présence de cacao et d'ingrédients naturellement plus acidifiants, ce qui rejoint les conclusions de **Belscak-Cvitanovic et al,(2012)**, qui ont montré que l'incorporation de cacao dans les formulations alimentaires fonctionnelles entraîne une légère diminution du pH.

Résultats et discussion

À l'inverse, la gamme Pearl Energy, présentant le pH le plus élevé (6,51), suggère une plus forte proportion d'ingrédients à caractère neutre, notamment les noix et les graines oléagineuses, connues pour exercer un effet tampon sur le milieu.

Selon **Sharma et Gujral , (2014)**, un pH compris entre 6,0 et 6,8 dans les produits céréaliers énergétiques est considéré comme favorable, car il contribue à maintenir la stabilité physicochimique, préserve les qualités organoleptiques et limite les réactions de dégradation durant le stockage.

Ainsi, les résultats obtenus confirment que les formulations développées présentent une stabilité physicochimique satisfaisante et se situent dans les normes généralement observées pour les produits énergétiques fonctionnels.

2.2 L'Extrait sec total :

La figure ci-dessous représente les résultats en extrait sec total obtenus pour les quatre gammes de boules énergétiques élaborées dans cette étude.

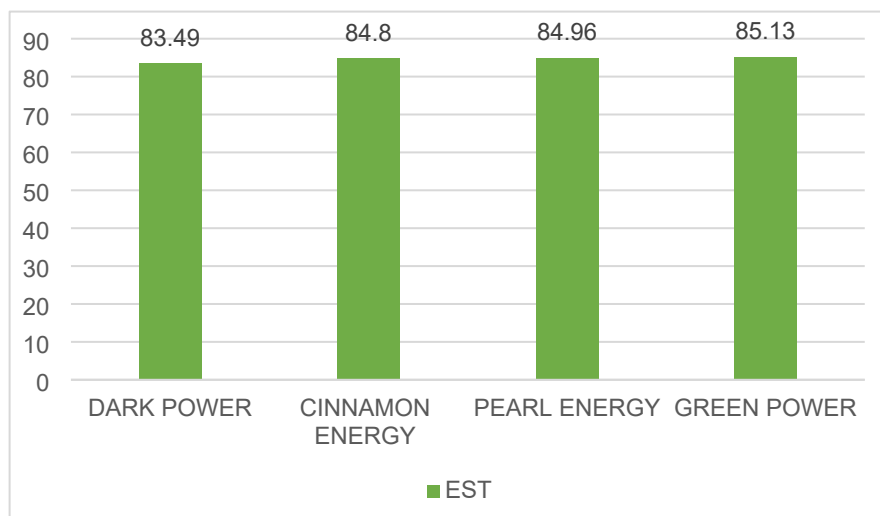


Figure 21 : Résultats de l'Extrait sec total des boules énergétiques

Selon la figure 21, les valeurs d'EST enregistrées sont particulièrement élevées et homogènes, oscillant dans un intervalle étroit entre 83,49% et 85,13%. La gamme Green Power présente la teneur la plus élevée en matière sèche totale avec 85,13%, suivie de près par les gammes Pearl Energy 84,96 et Cinnamon Energy 84,80%, tandis que la gamme Dark Power affiche la valeur la plus faible 83,49%. Ces légères fluctuations s'expliquent principalement par la nature hygroscopique et la composition biochimique des ingrédients spécifiques à chaque formulation

Résultats et discussion

(graines, noix de coco, oléagineux), qui influencent directement la capacité de rétention de la matière solide après le séchage à l'étuve. Ces teneurs élevées en extrait sec reflètent une faible activité de l'eau résiduelle, un facteur limitant crucial pour la prolifération microbienne et un excellent indicateur de la stabilité physico-chimique de ces matrices prêtes à consommer.

Nos résultats s'accordent fortement avec les travaux de **Gharib et al., (2023)**, qui ont mis en évidence que les collations saines formulées à base de pâte de dattes et enrichies en graines de lin ou de sésame affichent des taux de matière sèche compris entre 82% et 86%, confirmant que la matrice de datte constitue une excellente base solide naturelle stable. De plus, l'incorporation d'ingrédients à forte densité lipidique et fibreuse, comme les noix ou la poudre de cacao, tend à stabiliser l'extrait sec total face aux variations de séchage, un phénomène également observé par **Kaur et al., (2022)** lors du développement de barres et boules énergétiques enrichies en fruits secs.

En comparaison avec d'autres types de collations fonctionnelles, les valeurs obtenues dans notre étude demeurent supérieures à celles rapportées par **Munir et al., (2020)** sur des barres nutritionnelles à base de dattes et de céréales (78% à 81% d'extrait sec). Cette différence peut être attribuée à l'absence totale de liants liquides industriels ou de sirops ajoutés dans nos formulations, maximisant ainsi la proportion de solides totaux issus des matières premières brutes. L'ensemble de ces données consolide l'efficacité de nos formulations pour garantir un produit dense sur le plan nutritionnel et optimisé pour une conservation prolongée.

2.3 Résultats des valeurs nutritionnelles calculées (composition et valeur énergétique) :

Les valeurs nutritionnelles des quatre gammes de boules énergétiques (Dark Power, Cinnamon Energy, Pearl Energy et Green Power) ont été estimées à partir des proportions exactes des ingrédients utilisés dans chaque formulation ainsi que des données de composition nutritionnelle issues de la table Ciquel de la base de l'ANSES, (2026). La valeur énergétique (kcal/100 g) a été calculée selon les facteurs d'Atwater en considérant les contributions respectives des protéines, glucides et lipides (Figures 22 et 23).

Résultats et discussion

2.3.1 Composition nutritionnelle :

L'histogramme ci-dessous résume les résultats de la composition nutritionnelle.

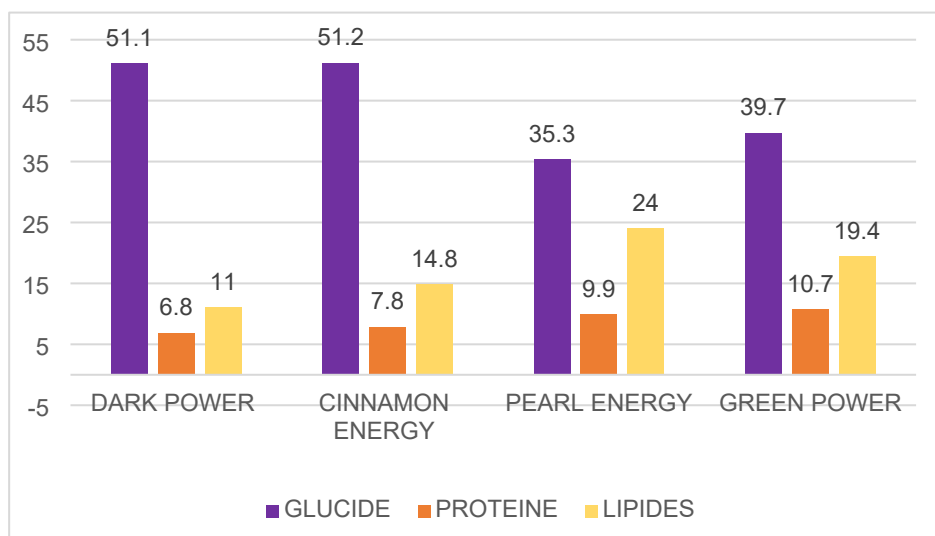


Figure 22 : Résultats des compositions nutritionnelles (glucides, protéines, lipides) des quatre gammes de boules énergétiques.

Les résultats obtenus mettent en évidence les teneurs en glucides, protéines, lipides ainsi que la valeur énergétique de chaque formulation exprimée pour 100 g de produit.

L'analyse comparative révèle des différences notables entre les quatre gammes, principalement attribuables à la nature des matières premières incorporées dans chaque recette. Les teneurs en glucides varient de 35,3 à 51,2 g/100g. La gamme **Cinnamon Energy** présente la teneur glucidique la plus élevée (51,2 g/100g), suivie de très près par **Dark Power** (51,1 g/100g). Cette richesse en glucides est principalement liée à la présence importante d'avoine et de dattes dans Cinnamon Energy ainsi qu'aux ingrédients énergétiques de Dark Power. Ces deux formulations constituent ainsi des sources importantes d'énergie rapidement disponible, particulièrement intéressantes avant ou pendant une activité physique nécessitant un apport énergétique immédiat.

À l'inverse, **Pearl Energy** affiche la teneur en glucides la plus faible (35,3 g/100g), tandis que **Green Power** présente une valeur intermédiaire (39,7 g/100g). Cette diminution relative des glucides est compensée par une proportion plus importante de composés lipidiques et protéiques issus des graines et oléagineux.

Concernant les protéines, les valeurs observées s'échelonnent entre 6,8 et 10,7 g/100g. La gamme **Green Power** présente la teneur protéique la plus élevée (10,7 g/100g), suivie de **Pearl Energy** (9,9 g/100g), puis de **Cinnamon Energy** (7,8 g/100g). **Dark Power** affiche la teneur

Résultats et discussion

protéique la plus faible (6,8 g/100g). Cette différence s'explique par la présence de graines riches en protéines végétales dans les formulations **Green Power** et **Pearl Energy**. Une teneur protéique plus élevée représente un avantage nutritionnel important puisqu'elle contribue au maintien de la masse musculaire, à la récupération après l'effort et à l'augmentation du pouvoir satiétogène du produit.

Les lipides montrent également une variabilité marquée entre les formulations. **Pearl Energy** se distingue par la teneur lipidique la plus élevée (24,0 g/100g), suivie de **Green Power** (19,4 g/100g), **Cinnamon Energy** (14,8 g/100g) et **Dark Power** (11,0 g/100g). La richesse lipidique de Pearl Energy s'explique par la présence d'amandes, de noix de coco et de graines de sésame blanc, ingrédients reconnus pour leur forte teneur en acides gras insaturés. Ces lipides contribuent non seulement à l'augmentation de la valeur énergétique mais également à l'apport d'acides gras essentiels et de composés bioactifs bénéfiques pour la santé cardiovasculaire. (Figure 22).

2.3.2. Valeur énergétique :

La figure ci-dessous présente les résultats de la valeur énergétique.

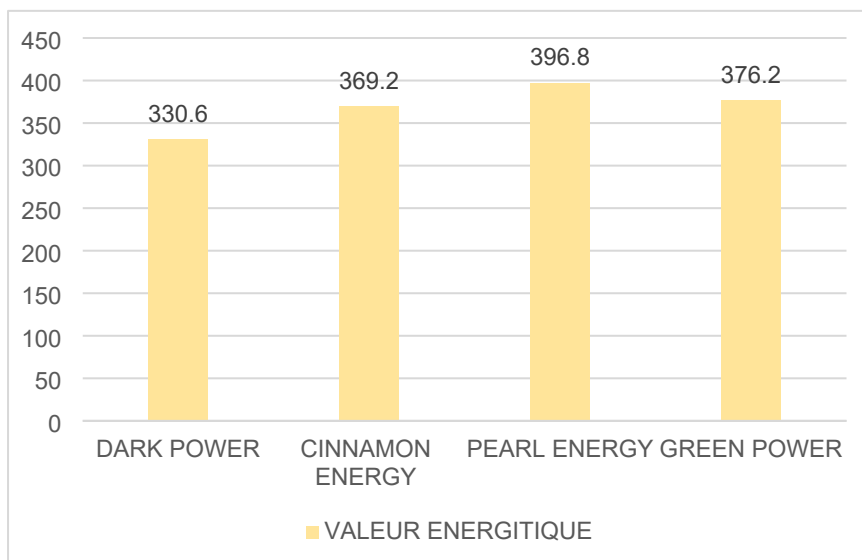


Figure 23 : Résultats de la valeur énergétique des quatre gammes de boules énergétiques.

Résultats et discussion

L'évaluation de la valeur énergétique confirme l'influence majeure de la fraction lipidique sur la densité calorique des produits. **Pearl Energy** présente la valeur énergétique la plus élevée avec 396,8 kcal/100g, conséquence directe de sa teneur importante en lipides et en protéines. **Green Power** et **Cinnamon Energy** affichent des valeurs énergétiques relativement proches, respectivement 376,2 kcal/100g et 369,2 kcal/100g. Enfin, **Dark Power** possède la valeur énergétique la plus faible (**330,6 kcal/100g**), malgré sa forte teneur en glucides, ce qui s'explique par sa faible proportion de lipides, nutriment le plus énergétique avec 9 kcal/g.

Ces résultats mettent en évidence que la densité énergétique des formulations est davantage influencée par la teneur en lipides que par celle en glucides. Ainsi, bien que Cinnamon Energy présente la plus forte teneur glucidique, sa valeur énergétique demeure inférieure à celle de Pearl Energy en raison d'une concentration lipidique plus faible.

Les valeurs obtenues demeurent comparables, voire légèrement supérieures, à celles rapportées dans la littérature scientifique pour des produits similaires. Ainsi, **Alsuhebani et al., (2025)** ont rapporté des valeurs énergétiques comprises entre 328,76 et 352,76 kcal/100g pour des boules énergétiques élaborées à partir de pâte de dattes Sukkari et de poudre de graines de Samh, tandis que **Hajare et al., (2025)** ont trouvé une valeur d'environ 310 kcal/100g pour des boules énergétiques enrichies en amandes, germe de blé et dattes.

Les valeurs plus élevées observées dans les présentes formulations peuvent être attribuées à l'incorporation d'une proportion significative d'oléagineux et de graines riches en matières grasses, notamment les amandes, le sésame et la noix de coco.

D'un point de vue nutritionnel et fonctionnel, chaque gamme présente des caractéristiques spécifiques. **Pearl Energy**, grâce à sa richesse en lipides et en protéines, apparaît particulièrement adaptée aux activités d'endurance et aux situations nécessitant un apport énergétique durable. **Green Power**, qui combine la teneur protéique la plus élevée avec une quantité importante de lipides, pourrait favoriser la satiété et la récupération musculaire.

À l'inverse, **Cinnamon Energy** et **Dark Power**, caractérisées par leurs teneurs élevées en glucides, constituent des options intéressantes pour fournir une énergie rapidement mobilisable avant ou pendant l'exercice physique. Cette diversité de profils nutritionnels permet ainsi de répondre à différents besoins énergétiques et physiologiques selon les objectifs du consommateur.

3. Résultats d'analyses microbiologiques :

Les résultats des analyses microbiologiques réalisées sur les différentes gammes de boules énergétiques élaborées dans le cadre de cette étude, à savoir : DarkPower (Gamme 1), Cinnamon Energy (Gamme 2), Pearl Energy (Gamme 3) et Green Power (Gamme 4), sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Résultats (UFC/g) de dénombrement des différents microorganismes recherchés.

	Flore Totale	<i>Staphylococcus aureus</i>	Entérobactéries	Levures	Moisissures
Gamme 1	0.0	0.0	0.0	0.0	2
Gamme 2	0.0	0.0	0.0	0.0	5
Gamme 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gamme 4	0.0	0.0	0.0	0.0	3

D'après le tableau, on peut observer une absence quasi-totale des microorganismes recherchés, notamment les levures, *Staphylococcus aureus*, les entérobactéries ainsi que la flore aérobie mésophile totale (FAMT). Ces résultats témoignent d'une bonne qualité microbiologique des produits analysés et traduisent le respect des conditions d'hygiène appliquées tout au long des étapes de préparation, de manipulation et de conditionnement des boules énergétiques.

Concernant les moisissures (champignons microscopiques), une faible présence a été observée uniquement dans certaines gammes, avec des valeurs restantes conformes aux limites microbiologiques admises. Cette légère contamination pourrait être expliquée par une contamination croisée survenue au niveau du laboratoire d'analyse, notamment en raison de la manipulation simultanée d'échantillons riches en champignons à proximité de notre zone de travail. Malgré cela, les résultats obtenus demeurent dans les normes microbiologiques recommandées et ne présentent aucun risque significatif pour la sécurité du consommateur.

Les microorganismes recherchés dans cette étude sont généralement impliqués dans l'altération des aliments et peuvent représenter un danger potentiel pour la santé humaine. En particulier, *Staphylococcus aureus* et certaines entérobactéries sont reconnus comme des agents pathogènes responsables d'intoxications alimentaires lorsque les conditions d'hygiène et de conservation ne sont pas respectées.

Résultats et discussion

L'absence de ces germes dans l'ensemble des échantillons analysés confirme donc l'efficacité des bonnes pratiques d'hygiène appliquées lors de la fabrication des boules énergétiques.

Par ailleurs, les résultats obtenus sont conformes aux exigences du Codex Alimentarius relatives à la sécurité et à la qualité des denrées alimentaires (FAO/WHO, 2023). Ces recommandations soulignent l'importance du contrôle microbiologique dans les produits alimentaires prêts à la consommation afin de garantir leur innocuité et leur stabilité microbiologique. Ainsi, la conformité observée dans notre étude met en évidence la bonne maîtrise des conditions de production et l'efficacité des mesures sanitaires appliquées durant la préparation des différentes gammes de boules énergétiques (Figure 24).



Figure 24 : Résultats d'analyse microbiologique.

4. Analyse sensorielle :

Une évaluation sensorielle a été effectuée auprès de 30 dégustateurs pour déterminer les propriétés organoleptiques des différentes gammes de boules énergétiques. Cette évaluation, basée sur une échelle hédonique de 5 points (de « Je n'aime pas du tout » à « J'apprécie beaucoup »), vise à apprécier les sensations que le produit procure aux cinq sens : la vue, l'odorat, le goût, le toucher (Yang et Lee, 2019). Plus précisément, l'analyse a porté sur des aspects cruciaux tels que la texture en bouche, la couleur et l'aspect visuel, la consistance, le goût, ainsi que l'odeur ou l'arôme. L'objectif est de comparer l'impact des ingrédients supplémentaire (cacao et sésame noir, cannelle et avoine, sésame blanc et noix de coco, courge et fenouil...etc.) sur la qualité sensorielle globale des quatre gammes de boules énergétiques : Dark Power, Cinnamon Energy, Pearl Energy et Green Power (Tableau 8).

Résultats et discussion

Tableau 4 : Moyennes des caractères organoleptiques des différents gammes.

Gammes	Texture	Couleur	Consistance	Gout	Odeur
DARK POWER	4.50	4.23	4.66	4.33	4.26
CINNAMON ENERGY	4.43	4.60	4.56	4.70	4.63
PEARL ENERGY	4.03	3.73	3.83	3.80	3.66
GREEN POWER	2.76	3.73	3.30	3.53	4.06

Dans notre étude, comme dans celle de **Samakradhamrongthai et al., (2021)** sur les produits énergétiques à base de céréales et de fruits, la formulation des boules énergétiques influence significativement leurs propriétés sensorielles. Ces auteurs ont montré que la composition des ingrédients joue un rôle déterminant dans l'acceptabilité globale des produits, notamment à travers ses effets sur le goût, l'arôme et la texture.

Nos résultats confirment cette tendance : la gamme Cinnamon Energy obtient les meilleurs scores pour presque tous les attributs, notamment le goût (4,7) et l'odeur (4,63), ce qui suggère un effet synergique positif de la cannelle associée à une texture agréable (4,43). Ce constat rejoint également les observations rapportées par **Fiorentini et al., (2020)**, selon lesquelles les caractéristiques sensorielles, en particulier les attributs aromatiques et gustatifs, influencent fortement l'acceptation des produits végétaux par les consommateurs.

En revanche, la gamme Green Power présente les scores les plus faibles, en particulier pour la texture (2,77) et le goût (3,53). Une telle diminution de l'acceptabilité pourrait être liée à la présence d'ingrédients végétaux présentant des caractéristiques sensorielles plus marquées, susceptibles d'affecter la perception du produit. Des habitudes similaires ont été rapportées par **Uriz-Martínez et al., (2025)** lors de l'évaluation sensorielle de snacks riches en protéines végétales, où certains ingrédients ont influencé négativement la texture et l'appréciation globale.

La gamme Dark Power, avec des notes intermédiaires à élevées (texture 4,5 ; consistance 4,67), semble bénéficier d'un effet texturant lié à sa formulation, comparable aux résultats obtenus par **You et al., (2024)**, qui ont observé que la composition des barres protéinées influence significativement leurs propriétés texturales et leur acceptabilité sensorielle.

Résultats et discussion

Enfin, Pearl Energy affiche des scores moyens (environ 3,7 - 3,8), ce qui pourrait refléter une formulation plus neutre (amandes douces), potentiellement moins attractive que les profils épicés ou plus intenses.

Nos résultats suggèrent donc que le choix des ingrédients aromatiques et structurants (épices, poudres végétales, liants) joue un rôle déterminant sur l'ensemble des attributs sensoriels des boules énergétiques.

4.1. Odeur :

La figure ci-dessous présente les résultats de Variation de l'odeur.

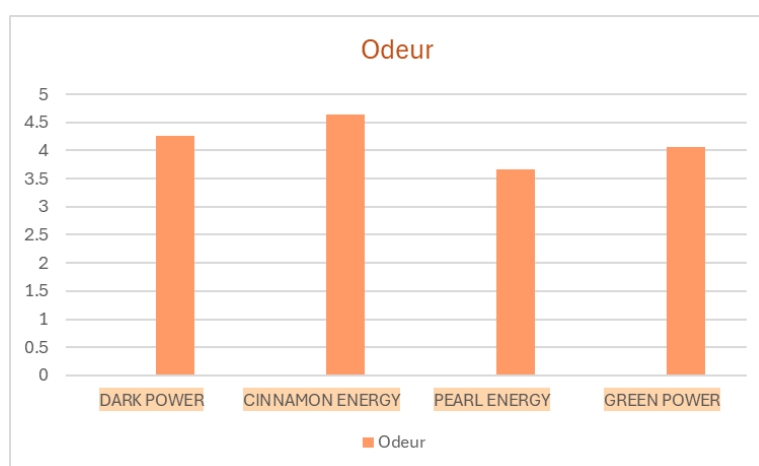


Figure 25 : Variation de l'odeur des différentes gammes des boules.

L'odeur représente un critère sensoriel fondamental dans l'évaluation de la qualité perçue des produits, car elle conditionne fortement l'acceptabilité globale et l'expérience gustative initiale. Les résultats obtenus (figure 25) montrent que les produits présentent des niveaux d'appréciation olfactive distincts. Le produit Cinnamon Energy a obtenu la note la plus élevée (4,63), suivi de Dark Power (4,27), puis de Green Power (4,07). En revanche, Pearl Energy affiche la note la plus faible avec 3,67, se situant en deçà de la moyenne des autres échantillons.

Ces résultats indiquent que Cinnamon Energy, avec sa note proche de 5/5, pourrait bénéficier d'un arôme particulièrement reconnaissable, agréable et bien intégré, favorisant une meilleure perception sensorielle. La légère supériorité de la gamme Cinnamon sur la Dark Power (4,27) pourrait s'expliquer par la popularité universelle et la force distincte des notes épicées et chaudes, qui s'expriment mieux que des arômes plus complexes ou plus sombres.

À l'inverse, Pearl Energy présente les notes d'odeur les plus faibles, probablement à cause d'un arôme plus subtil et délicat, qui, bien que potentiellement intéressant, pourrait être facilement

Résultats et discussion

masqué ou moins bien perçu par le panel sensoriel. De même, Green Power, en position intermédiaire, pourrait présenter des notes herbacées ou végétales moins distinctes ou moins populaires que l'arôme puissant de la cannelle. En somme, la force et la clarté de l'empreinte olfactive semblent être des facteurs déterminants pour obtenir les meilleures évaluations dans cette catégorie.

4.2. Goût :

La figure ci-dessous présente les résultats de Variation de goût.

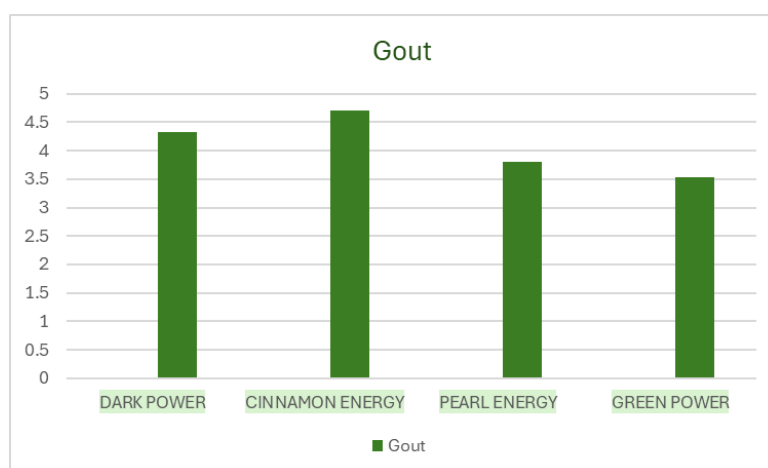


Figure 26 : Variation de Goût des différentes gammes des boules.

Les résultats représentés sur la figure 26 montrent que les dégustateurs ont globalement préféré la gamme Cinnamon Energy, qui a obtenu la meilleure note gustative avec une moyenne de 4,7/5. D'autre part, la gamme Dark Power a également été très bien acceptée, se plaçant en deuxième position avec une note de 4,33. Les gammes Pearl Energy et Green Power ont reçu des notes plus modérées, respectivement 3,8 et 3,53.

En revanche, la gamme Green Power a obtenu les notes gustatives les plus faibles. On peut conclure que l'association des arômes chauds et épicés de la cannelle et de l'avoine dans la gamme Cinnamon Energy a permis de produire une boule énergétique au goût très apprécié par les dégustateurs, tandis que la combinaison d'ingrédients comme le fenugrec, la nigelle et la courge dans la gamme Green Power semble avoir donné un goût moins harmonieux, probablement à cause de la présence de notes plus amères ou herbacées moins populaires.

Le succès gustatif de la gamme Dark Power, avec son profil chocolaté et légèrement amer, confirme que les notes fortes mais classiques restent très appréciées des consommateurs.

4.3. Couleur :

Résultats et discussion

La figure ci-dessous présente les résultats de Variation de couleur.

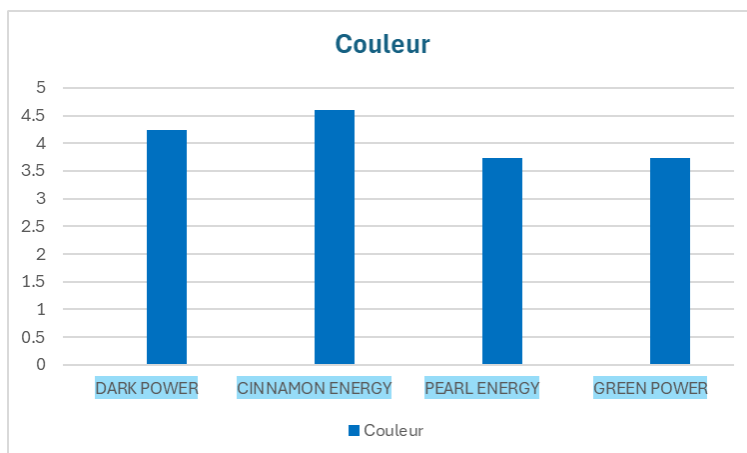


Figure 27 : Variation de couleur des différentes gammes des boules.

L'évaluation sensorielle de la couleur a montré des différences notables entre les quatre gammes de boules énergétiques. La gamme Cinnamon Energy a obtenu la meilleure appréciation avec une note moyenne de 4,60/5, les dégustateurs ayant particulièrement apprécié sa couleur brune homogène associée à la présence de cannelle, perçue comme chaleureuse et appétissante. La gamme Dark Power arrive en deuxième position avec une note de 4,23/5, sa teinte foncée et uniforme évoquant un produit riche en cacao et à forte valeur énergétique.

Les gammes Pearl Energy et Green Power ont obtenu des notes identiques de 3,73/5. Bien que leur apparence ait été jugée originale, leur couleur plus inhabituelle pour ce type de produit a suscité une acceptabilité légèrement inférieure. Pour Green Power, la présence visible de particules végétales a été perçue comme un signe de naturalité par certains dégustateurs, tandis que d'autres ont considéré cette apparence comme moins attractive. De même, la couleur claire de Pearl Energy s'éloigne de l'image traditionnelle associée aux boules énergétiques. **Figure 27**

Ces résultats confirment que la couleur constitue un critère déterminant dans l'acceptabilité des produits alimentaires. Une apparence homogène et une teinte rappelant les ingrédients traditionnellement utilisés dans les snacks énergétiques favorisent généralement une meilleure appréciation sensorielle. Ces observations sont en accord avec les travaux de **(Panchal et Shekhar (2021))**, qui ont montré que l'aspect visuel et l'uniformité de la couleur influencent fortement la préférence des consommateurs pour les boules énergétiques à base d'ingrédients naturels.

4.4. Consistance :

Résultats et discussion

La figure ci-dessous présente les résultats de Variation de consistance.

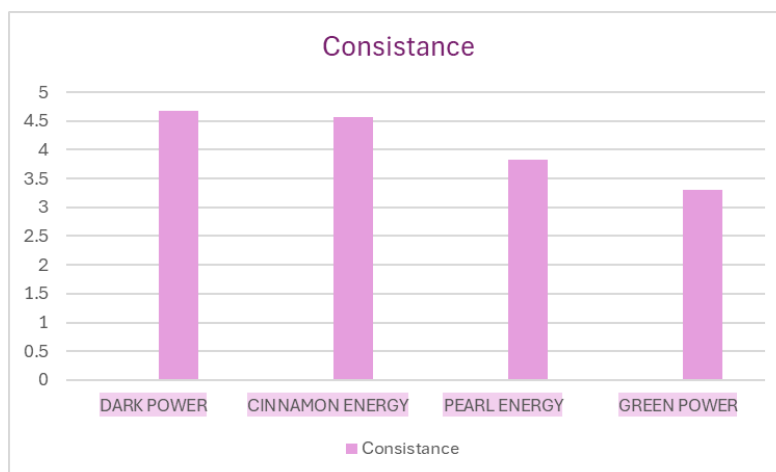


Figure 28 : Variation de Consistance des différentes gammes des boules.

Selon la figure 28, l'évaluation sensorielle de la consistance a révélé une bonne acceptabilité globale des différentes gammes de boules énergétiques. La gamme Dark Power a obtenu la note la plus élevée (4,67/5), suivie de près par Cinnamon Energy (4,57/5).

Les dégustateurs ont particulièrement apprécié leur structure compacte, homogène et facile à mâcher, traduisant un bon équilibre entre fermeté et moelleux. La gamme Pearl Energy a obtenu une note intermédiaire de 3,83/5, indiquant une consistance jugée satisfaisante mais légèrement moins appréciée que celle des deux premières formulations.

Quant à la gamme Green Power, elle a reçu la note la plus faible (3,30/5), certains dégustateurs ayant perçu une structure moins homogène en raison de la présence de particules végétales et de graines. Ces résultats montrent que les formulations présentant une meilleure cohésion entre les ingrédients et une répartition homogène des constituants sont généralement mieux acceptées par les consommateurs.

Des observations similaires ont été rapportées par **Samakradhamrongthai et al., (2021)** lors de l'évaluation sensorielle de barres céréalières énergétiques, où les formulations présentant une bonne cohésion, une texture homogène et une structure compacte ont obtenu les meilleures appréciations de la part des consommateurs. Ainsi, la consistance apparaît comme un paramètre déterminant de la qualité sensorielle et de l'acceptabilité globale des produits énergétiques.

4.5. Texture :

Résultats et discussion

La figure ci-dessous présente les résultats de Variation de texture.

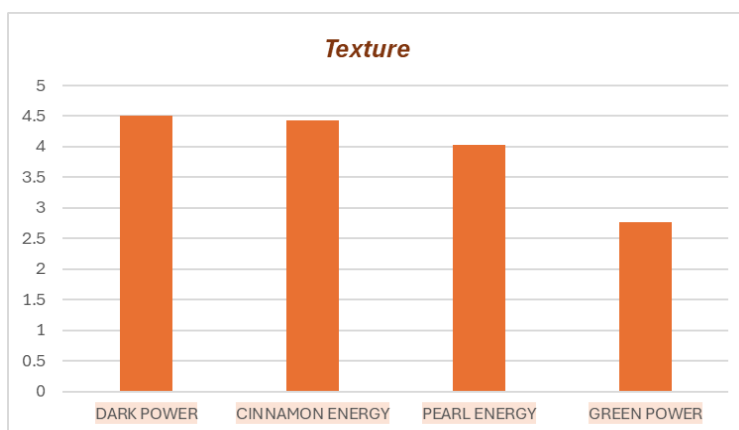


Figure 29 : Variation de texture des différentes gammes des boules.

L'analyse sensorielle de la texture a mis en évidence des différences significatives entre les différentes gammes étudiées. La gamme Dark Power a obtenu la meilleure note (4,50/5), suivie de très près par Cinnamon Energy (4,43/5). Les dégustateurs ont apprécié leur texture tendre, homogène et facile à mâcher, offrant une sensation agréable en bouche. La gamme Pearl Energy a enregistré une note de 4,03/5, traduisant une bonne acceptabilité malgré une texture légèrement moins appréciée que celle des deux premières formulations.

En revanche, la gamme Green Power a obtenu la note la plus faible (2,77/5). Cette différence pourrait être attribuée à la présence de graines et de morceaux de graines de courge qui ont conféré au produit une texture plus irrégulière et moins fondante. Les résultats obtenus confirment que l'homogénéité de la matrice alimentaire influence fortement la perception sensorielle de la texture (Figure 29).

Une texture moelleuse et uniforme est généralement associée à une meilleure acceptabilité par les consommateurs. Ces observations sont cohérentes avec les travaux de **Mridula et al. (2013)**, qui ont montré que l'incorporation d'ingrédients riches en fibres et en particules végétales peut modifier les caractéristiques texturales et influencer l'appréciation sensorielle des produits énergétiques. Ainsi, la maîtrise de la granulométrie et de la cohésion des ingrédients constitue un facteur essentiel pour optimiser la qualité sensorielle des produits énergétiques.

✓ **Choix de préférence :** D'après les résultats des tests sensoriels et de valeurs énergétiques, nous constituons que les gammes « Cinnamon Energy » présente une meilleure caractéristique organoleptique et bonne valeur énergétique, et la gamme « Pearl Energy » présente aussi la meilleure valeur énergétique et une bonne caractéristique organoleptique. De ce fait, ces deux gammes ont été les meilleurs.

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail expérimental consacré à l'élaboration et à la caractérisation de boules énergétiques naturelles à base de dattes et de beurre de cacahuète, complétées par des graines et déclinées en quatre gammes fonctionnelles (Dark Power, Cinnamon Energy, Pearl Energy, Green Power), et après évaluation de leurs paramètres physico-chimiques, microbiologiques et sensoriels, réalisée au sein du laboratoire de microbiologie de l'université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Sur le plan physico-chimique, les quatre gammes présentent des caractéristiques stables et satisfaisantes. Le pH varie entre 6,03 et 6,51, avec une valeur plus faible pour Dark Power (liée à l'ajout de cacao) et plus élevée pour Pearl Energy. L'extrait sec total (EST), reflet de la densité nutritionnelle, est très élevé (83,49 % à 85,13 %), ce qui témoigne d'une faible activité de l'eau et d'une bonne aptitude à la conservation, sans additifs. Les valeurs nutritionnelles calculées montrent une densité énergétique importante (375 à 440 kcal/100 g), avec des profils différenciés : Pearl Energy est la plus riche en lipides et protéines, Cinnamon Energy en glucides, et Dark Power la plus équilibrée.

Du point de vue microbiologique, l'ensemble des échantillons s'avère parfaitement sain : aucune contamination par les microorganismes pathogènes ou d'altération recherchés (flore aérobie mésophile totale, staphylocoques, entérobactéries, levures) n'a été détectée. Seule une très faible présence de moisissures a été observée sur certaines gammes (2 à 5 UFC/g), sans dépasser les normes admises. Ces résultats attestent du respect rigoureux des bonnes pratiques d'hygiène tout au long du processus de fabrication, du mélange des ingrédients crus au façonnage manuel.

L'analyse sensorielle, réalisée auprès de 30 dégustateurs, révèle une nette préférence pour les gammes Cinnamon Energy (meilleures notes pour l'odeur, le goût et la couleur) et Dark Power (texture et consistance très appréciées). La gamme Green Power, bien que très riche en minéraux et fibres, a obtenu les scores les plus faibles, notamment pour la texture jugée moins homogène. La gamme Pearl Energy a reçu des notes intermédiaires. Ces résultats soulignent l'importance du choix des ingrédients aromatiques et structurants dans l'acceptabilité globale du produit.

En somme, ce travail démontre qu'il est tout à fait possible de produire, à partir d'ingrédients bruts et naturels, des boules énergétiques saines, stables microbiologiquement, dotées d'une haute densité nutritionnelle et d'un bon profil sensoriel. Ces produits constituent une alternative crédible et bénéfique aux barres et snacks énergétiques industriels, répondant aux attentes des consommateurs en matière de naturalité, de santé et de plaisir gustatif.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Ahmad, A., et al. (2013). A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(5), 337–352.

Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008). Nutritional and functional properties of dates : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 877–887.

Alharbi, A. M., et al. (2025). Functional energy-rich snacks based on dates and natural nut butters: Nutritional and antioxidant profile. *Journal of Food Science and Human Wellness*, 14(2), 156–168.

Alharbi, H. F., Alsuhebani, H., Sakr, S. S., Elkashef, H., Algheshairy, R. M., Alfheaid, H. A., Algeffari, M. (2025). Novel high protein-energy balls formulated with date paste enriched with Samh seeds powder and/or different milk protein origins : Effect on protein digestibility in vitro and glycemic response in young adults. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1538441.

Alkaabi, J. M., Al-Dahmani, B., Saadi, H., Jelinek, H. F., & Elghazali, M. (2011). Glycemic indices of five varieties of dates in healthy and diabetic subjects. *Nutrition Journal*, 10(1), 59–65.

Al-Maiman, S. A., et al. (2023). Nutritional and Physicochemical Characteristics of Innovative High Energy and Protein Fruit- and Date-Based Bars. *Foods*, 12(14), 2714.

Alsuhebani, H., Sakr, S. S., Elkashef, H., Algheshairy, R. M., Alfheaid, H. A., Algeffari, M., & Alharbi, H. F. (2025). Novel high protein-energy balls formulated with date paste enriched with Samh seeds powder and/or different milk protein origins: effect on protein digestibility in vitro and glycemic response in young adults. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1538441.

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (ANSES) (2026). Table de composition nutritionnelle Ciqua. <https://ciqua.anses.fr/>

Hajare, A. B., Singh, V., & Ubale, S. M. (2025). Development and quality assessment of nutrient-enriched value-added energy balls and cookies. *Archives of Current Research International*, 25, 749–758.

Andrea costantino et al., (2023). The Dark Side of Energy Drinks: A Comprehensive Review of Their Effects on Human Health. *Nutrients*, 15(18), 3965.

Arya, S. S., Salve, A. R., & Chauhan, S. (2016). Peanuts as functional food : A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 31–41.

Aryana, K. J., Resurreccion, A. V. A., Chinnan, M. S., Beuchat, L. R. (2006). Functionality of palm oil as a stabilizer in peanut butter. *Journal of Food Science*, 71(4), E197–E203.

Awan, K. A., Yaqoob, S., Ul-Haq, I., Naveed, H., Imtiaz, A., Shaukat, A., Sultan, W., Qian, J., Alum, E. U., Shen, Q. (2025). Therapeutic power of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) : A nutrient-rich superfood for holistic health and disease prevention. *Food Science & Nutrition*, 13(9), e4700.

Barański, M., Srednicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G. B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C., Gromadzka-Ostrowska, J.,

Références bibliographiques

Rembialkowska, E., Skwarlo-Sońta, K., Tahvonen, R., Janovská, D., Niggli, U., Jaeger, U., Basch, E., et al. (2003). Fenugreek. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 3(2), 77–91.

Bio&Co. (s.d.). 10 aliments énergétiques pour garder la forme [Photographie]. <https://www.bioandco.bio/10-aliments-energetiques-pour-garder-la-forme/>

Biophénix. (s.d.). Meilleur complément alimentaire pour senior. [Image]. <https://share.google/luYDpXo1ZA1hh6Plq>

Bolling, B. W., Chen, C. Y. O., McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2011). Tree nut phytochemicals: Composition, antioxidant capacity, bioactivity, and impact factors. *Nutrition Research Reviews*, 24(2), 244–275.

Brito, A. G. S. (2025). Energy balls : Integration of bee pollen with natural ingredients for a nutritious and functional food [Mémoire de Master, Instituto Politécnico de Bragança & Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. Repositorio Institucional do IPB.

Brousse et Fils. (2025). Dattes : bienfaits et variétés de dattes sèches. de <https://www.broussefils.com/fr/coeur-du-monde/id-23-dattes-seches-les-varietes-et-les-bienfaits-des-differentes-dattes> (Consulté le 8 mars 2026).

Charlon, P. (2020). Les energy balls : découverte et recette. Les Amazones Parisiennes. <https://www.lesamazonesparisiennes.com/les-energy-balls-decouverte-et-recette/>(Consulté le 15 avril 2026)

Chauhan, N., Mahajan, P., & others. (2024). Snack bars as a functional snack option for individuals with diabetes: A review. *Indian Journal of Public Health Research & Development*. 15 (1).

Chen, C. Y. O., et al. (2006). Almonds and oxidative stress. *Journal of Nutrition*, 136(4), 1074–1077.

Chen, C.-Y. O., et al. (2006). Health effects of almonds on cardio-metabolic risk factors: A dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84(4), 667–677.

Danses avec la plume. (2020). Conseil nutrition – Energy balls : collation saine ou trop calorique pour le danseur/la danseuse ? Danses avec la plume. <https://www.dansesaveclaplume.com/1107351/en-studio/1107351-energy-balls-collation-saine-ou-trop-calorique-pour-le-danseur/>(Consulté 16 décembre).

DebMandal, M., & Mandal, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.): Arecaceae: In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 241–247.

Dreher, M. L. (2018). Whole fruits and fruit fiber emerging health effects. *Nutrients*, 10(12), 1833.

Drewnowski, A. (2005). Concept of a nutritious food : toward a nutrient density score. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(4), 721-732.

Références bibliographiques

Drewnowski, A., Specter, S. E. (2004). Poverty and obesity: The role of energy density and energy costs. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(1), 6–16.

Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., & Attia, H. (2007). Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry*, 103(2), 641–650.

Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2021). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 820–834.

FAO. (2008). Aliments, nutriments et régimes. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/4/w0078f/w0078f0e.htm>

Fiorentini, M., Kinchla, A. J., & Nolden, A. A. (2020). Role of sensory evaluation in consumer acceptance of plant-based meat analogs and meat extenders: A scoping review. *Foods*, 9(9), 1334.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2001). Date palm products (FAO Agricultural Services Bulletin No. 137). <https://www.fao.org/4/t0681e/t0681e03.htm>

Fruhworth, G. O., & Hermetter, A. (2007). Chemistry and biological activities of nutritional pumpkin seeds (*Cucurbita pepo*). *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(9), 1145–1157.

Fruhworth, G. O., & Hermetter, A. (2007). Seeds and oil of pumpkin. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(11), 1128–1140.

Glew, R. H., et al. (2006). Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 651–660.

Goyal, A., Sharma, V., & Upadhyay, S. K. (2014). Flax (*Linum usitatissimum*): A model functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1717–1725.

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil : An ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1633-1653.

Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., Putnik, P. (2020). Functional foods: Principles and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19 (3) 1110-1124.

Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., Putnik, P. (2020). Functional foods : Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 61–109.

Gruenwald, J., Freder, J., & Armbruester, N. (2010). Cinnamon and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(9), 822–834.

Références bibliographiques

Hajare, A. B., Singh, V., Ubale, S. M. (2025). Development and quality assessment of nutrient-enriched value-added energy balls and cookies. *Archives of Current Research International*, 25(9), 749–758.

Hajare, S. N., et al. (2025). Functional foods enriched with flaxseed and medicinal seeds: Impact on metabolic and inflammatory markers. *Nutrition Research Reviews*, 38(1), 45–67.

Hardouin, P. (2020). Besoins nutritionnels et apports recommandés. Ressources pédagogiques Canoprof. https://patrice-hardouin.canoprof.fr/eleve/Sciences%20en%20H%C3%B4tellerie-Restauration/MAN_HR/besoins_nutritionnels_eleve/

Hussain, M. B., et al. (2023). Comparative nutritional evaluation of natural vs commercial energy balls : Focus on bioactive compounds and glycemic index. *Journal of Functional Foods*, 105, 105512.

Jeukendrup, A. (2011). Nutrition for endurance sports : Marathon, triathlon, and road cycling. 1st Ed. Routledge, 152 p.

Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed—A potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 1857–1871.

Karimi, N., Hosseini, S. (2024). Nutritional composition and health-promoting effects of date-based energy balls : A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

Katz, D. L., Doughty, K., Ali, A. (2011). Cocoa and chocolate in human health and disease. *Antioxidants & Redox Signaling*, 15(10), 2779–2811.

Laboratoire Lescuyer. (2023). Comment adopter une alimentation énergétique ?. <https://www.laboratoire-lescuyer.com/blog/comment-adopter-une-alimentation-energetique>

Leifert, C. (2014). Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: A systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition*, 112(5), 794–811.

Igheshairy, R. M., et al. (2025). Novel high protein-energy balls formulated with date paste enriched with Samh seeds powder and/or different milk protein origins : Effect on protein digestibility in vitro and glycemic response in young adults. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1538441.

Lockyer, S., de la Hunty, A. E., Steenson, S., Spiro, A., & Stanner, S. A. (2023). Walnut consumption and health outcomes with public health relevance—a systematic review of cohort studies and randomized controlled trials published from 2017 to present. *Nutrition Reviews*, 81(1), 26–54.

Marten, B., Pfeuffer, M., & Schrezenmeir, J. (2006). Medium-chain triglycerides. *International Dairy Journal*, 16(11), 1374–1382.

Maya, C., et al. (2022). Consumer acceptance toward functional foods: A scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1217.

Müller, M., Canfora, E. E. (2020). Energy balance and metabolic regulation in humans.

Références bibliographiques

National Nutrition Council (NNC), Republic of the Philippines. (2022). Reasons to eat peanut butter. <https://nnc.gov.ph/mindanao-region/reasons-to-eat-peanut-butter/> Consulté 29 Mai 2026)

NaturaForce. (2024). Dattes : composition, bienfaits et conseils. Consulté le 8 mars 2026 <https://www.naturaforce.com/pages/dattes>

NaturaForce. (2025). Beurre de cacahuète : Intérêts, propriétés et utilisations. <https://www.naturaforce.com/pages/beurre-de-cacahuete>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO, N° 92. 76p.

Organisation mondiale de la santé (2020). Healthy diet. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Pathak, N., Rai, A. K., Bhat, K. V. (2014). Value addition in sesame : A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*, 8(16), 147-155.

Pathak, P., Khandelwal, S., & Chopra, K. (2014). Evaluation of antioxidant and anti-inflammatory potential of sesame (*Sesamum indicum*) lignans: A review. *Food Chemistry*, 151, 217–228.

Pontzer H, Yamada Y, Sagayama H, Ainslie PH, Andersen LF, Anderson LJ., et al. (2021). Daily energy expenditure through the human life course. *Science*, 373 (6556) : 808-812.

Pooyandjoo, M., Nouhi, M., Shab-Bidar, S., Djafarian, K., Olyaeemanesh, A. (2020). A critical review on the role of food and nutrition in the energy balance. *Nutrients*, 12(4), 1161.

Rahmawati, W., Wirawan, N.N., Fahmi, I., Cempaka, A.R., Andarini, S. (2025). Energy density, nutrient density, and nutrient-to-price ratio of Indonesian foods. *Food Research*, 8(Suppl. 6), 74-83.

Ranasinghe, P., et al. (2013). Medicinal properties of “true” cinnamon (*Cinnamomum verum*): A systematic review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 3(4), 201–215.

Ranasinghe, P., Jayawardana, R., Galappaththy, P., Constantine, G. R., Katulanda, P. (2013). Efficacy and safety of ‘true’ cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) as a pharmaceutical agent in diabetes : A systematic review and meta-analysis. *Diabetic Medicine*, 30(12), 1480-1492.

Ranya Alshumrani., et al. (2023). Consumption of energy drinks and their effects on sleep quality among children, adolescents, and young adults: A systematic review. *Nutrients. J Family Med Prim Care*, 29; 12(8): 1609–1614

Références bibliographiques

Rather, M. A., et al. (2016). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review. *BioMed Research International*, 2016, Article 8203468.

Ros, E. (2010). Health benefits of nut consumption. *Nutrients*, 2(7), 652–682.

Samakradhamrongthai, R. S., Jannu, T., & Renaldi, G. (2021). Physicochemical properties and sensory evaluation of high energy cereal bar and its consumer acceptability. *Heliyon*, 7(8), e07776.

Samuel Lévy et all.; (2019). European Cardiac Arrhythmia Society Statement on the cardiovascular events associated with the use or abuse of energy drinks.

Shahidi, F., Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and antioxidants in natural energy balls : Nutritional benefits and health implications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 345-367.

Shojaii, A., & Fard, M. A. (2012). Review of pharmacological properties of *Pimpinella anisum*. *ISRN Pharmaceutics*, 2012, Article 510795.

Silva, M. M., Reboredo-Rodríguez, P., Lago, J., & A. (2021). Nutritional composition, bioactive compounds, and antioxidant activity of plant-based energy bars. *Foods*, 10(6), 1322.

Springmann, M., Charles, H. C. J., Godfray, H. C. J., Rayner, M., & Scarborough, P. (2016). Analysis and valuation of the health and climate change co-benefits of dietary shifts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(15), 4146–4151.

Srour, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Andrianasolo, R. M., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Julia, C., & Touvier, M. (2019). Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: Prospective cohort study (NutriNet-Santé). *BMJ*, 365, Article 11451.

Uriz-Martínez, M., Astiasaran, I., Aranaz, P., & Ansorena, D. (2025). High plant protein snacks as novel animal product substitutes: sensory assessment, nutritional evaluation and in vitro digestibility. *LWT*, 224, 117795.

Westerterp, K. R. (2017). Control of energy expenditure in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71, 40–344.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fan, S., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Sibanda, L. M., . . . Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492.

Williamson, G., & Carughi, A. (2010). Polyphenol content and health benefits of raisins. *Nutrition Research*, 30(8), 511–519.

Wood, P. J. (2010). Oat β -glucan : Properties and function. In *Oats : Chemistry and Technology*. AACC International Press. pp. 219-254.

Références bibliographiques

Wood, P. J. (2010). Oats and cardiovascular disease: The role of beta-glucan. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(12), 1329–1345.

Yang, J., & Lee, J. (2019). Application of sensory descriptive analysis and consumer studies to investigate traditional and authentic foods: A review. *Foods*, 8(2), 54.

Yauger, M. (2025) 8 Ways Peanut Butter Boosts Your Overall Health (K. Girgen, Rév. Méd.). Health.com. <https://www.health.com/nutrition/is-peanut-butter-healthy> (Consulté le 10 décembre).

You, X. Y., Ding, Y., Bu, Q. Y., Wang, Q. H., & Zhao, G. P. (2024). Nutritional, textural, and sensory attributes of protein bars formulated with mycoproteins. *Foods*, 13(5), 671.

Zhu, F. (2021). Cereal-based energy bars : Nutritional composition and functionality. *Food Chemistry*, 345, 128815.

ملخص

يركز هذا العمل على تحضير كرات طاقوية طبيعية وصحية، تُنتج من التمر وزبدة الفول السوداني، مع إضافة مكونات محددة (الأربع تركيبات مختلفة: "القوة المظلمة" (كاكاو وسمسم أسود)، "طاقة القرفة" (قرفة، شوفان، جوز، بذر كتان وسمسم بني طاقة اللؤلؤة) (سمسم أبيض، جوز هند ولوز)، و"القوة الخضراء" (بذور اليقطين، زبيب، شمر وبيانسون). الهدف هو الحصول على بديل طبيعي للمنتجات الطاقوية الصناعية، ذي قيمة غذائية عالية وخالي من الإضافات الكيميائية. تم تقييم الجودة الحسية للمنتجات، ثم اختبار جودتها العامة من خلال تحليل بعض المعايير الفيزيائية والكيميائية (درجة الحموضة، والمستخلص الجاف الكلي)، وجودتها الصحية من خلال البحث عن بعض الكائنات الجرثومية (المكورات العنقودية، البكتيريا المعوية، البكتيريا الهوائية العامة، الخمائر، والعفن)؛ وذلك في مخبر جامعة تلمسان.

أظهرت النتائج أن المنتجات التي تم الحصول عليها ذات جودة جيدة، وتتمتع بخصائص فيزيوكيميائية (درجة الحموضة، المادة الجافة الكلية، التركيب الغذائي) مطابقة لمعايير الإنتاج. كما أظهرت المنتجات سلامة ميكروبيولوجية (غياب تام للكائنات الدقيقة المسببة للأمراض: المكورات العنقودية)، وفقاً لممارسات النظافة الجيدة في التصنيع مما يضمن سلامة المستهلكين. كشف التحليل الحسي عن قبول عام جيد مع تفضيل لبعض السلاسل. هذه النتائج تجعل من كرات الطاقة هذه غذاءً مثالياً، مع كونها مفيدة جداً للصحة.

الكلمات المفتاحية: كرات طاقوية، تمر، زبدة فول سوداني، تحليل حسي، خصائص فيزيائية-كيميائية، تحليل ميكروبيولوجي.

Résumé

Ce travail porte sur la préparation de boules énergétiques naturelles et saines, obtenues à partir de dattes et de beurre de cacahuète, avec l'ajout d'ingrédients spécifiques pour quatre formulations différentes : « Dark Power » (cacao et sésame noir), « Cinnamon Energy » (cannelle, avoine, noix, graines de lin et sésame brun), « Pearl Energy » (sésame blanc, noix de coco et amande), et « Green Power » (graines de courge, raisins secs, fenouil et anis). L'objectif est d'obtenir une alternative naturelle aux produits énergétiques industriels, à haute valeur nutritionnelle et exempte d'additifs chimiques.

Nous avons évalué la qualité sensorielle des produits, puis testé leur qualité générale par l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques (pH, extrait sec total), et leur qualité sanitaire par la recherche de certains microorganismes (staphylocoques, entérobactéries, flore aérobie mésophile totale, levures et moisissures) ; et ce au laboratoire de microbiologie de l'Université de Tlemcen.

Les résultats ont montré que les produits obtenus sont de bonne qualité, présentant des propriétés physico-chimiques (pH, EST, composition nutritionnelle) conformes aux normes de production. Les produits présentent aussi une innocuité microbiologique (absence totale des microorganismes pathogènes : staphylocoques), selon les bonnes pratiques d'hygiène de fabrication ce qui garantit la sécurité des consommateurs. L'analyse sensorielle a révélé une bonne acceptabilité globale avec une préférence pour certaines gammes. Ces résultats font de ces boules énergétiques un aliment de choix, tout en étant très bénéfique pour la santé.

Mots-clés : Boules énergétiques, Dattes, Beurre de cacahuète, Analyse sensorielle, Propriétés physico-chimiques, Analyse microbiologique.

Abstract

This work focuses on the preparation of natural and healthy energy balls, made from dates and peanut butter, with the addition of specific ingredients for four different formulations: "Dark Power" (cocoa and black sesame), "Cinnamon Energy" (cinnamon, oats, walnuts, flaxseeds and brown sesame), "Pearl Energy" (white sesame, coconut and almonds), and "Green Power" (pumpkin seeds, raisins, fennel and anise). The aim is to obtain a natural alternative to industrial energy products, with high nutritional value and free from chemical additives. We evaluated the sensory quality of the products, then tested their general quality by analyzing some physicochemical parameters (pH, total dry extract), and their safety by testing for certain microorganisms (staphylococci, enterobacteria, total aerobic mesophilic flora, yeasts and molds); this was carried out at the microbiology laboratory of the University of Tlemcen.

The results showed that the obtained products are of good quality, exhibiting physico-chemical properties (pH, total dry extract, nutritional composition) compliant with production standards. The products also show microbiological safety (total absence of pathogenic microorganisms: staphylococci), in accordance with good manufacturing hygiene practices, which guarantees consumer safety. Sensory analysis revealed good overall acceptability with a preference for certain ranges. These results make these energy balls a food of choice, while being very beneficial for health.

Keywords: Energy balls, Dates, Peanut butter, Sensory analysis, Physicochemical properties, Microbiological analysis