

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn Badis-
Mostaganem

Faculté des Sciences De la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس

مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mr MOKRETAR Oussama

Mr ZAOUI Smail

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Contrôle de la Qualité des Aliments

THEME

Essai de fabrication d'un biscuit à base de farine de lentilles. Impacte de la substitution de la farine de blé par la farine de lentilles traitées sur la qualité nutritionnelle et sensorielle du biscuit.

Soutenue le 29/09/2021

DEVANT LE JURY :

| | | | |
|---------------|-----------------|------------|---------------|
| Président | Mr. AIT SAADA.D | MCA | U. Mostaganem |
| Encadreur | Mr. BOUDEROUA.K | Professeur | U. Mostaganem |
| Examinatrice | Mme. BELMAHDIF | MCB | U. Mostaganem |
| Co-directrice | Mlle. ATTOU.A | Doctorante | U. Mostaganem |

Année Universitaire : 2020-2021

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu, Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et le courage qu'il nous a donné pour poursuivre nos études.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre directeur de mémoire Pr. BOUDEROUA Kaddour directeur de l'école supérieur d'agronomie de Mostaganem de nous avoir proposé ce thème et de nous avoir accueillis à bras ouverts ainsi pour son esprit scientifique, ses précieux conseils, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer tout au long de la réalisation de ce mémoire, qu'il trouve en ces mots toute notre gratitude.

Nous exprimons nos vifs remerciements et notre reconnaissance à M^{lle} ATTOU Asma pour sa généreuse disponibilité, sa gentillesse, ces orientations et son sens d'écoute et d'échange. Nous tenons à la remercier aussi pour la grande confiance qu'elle nous fait et pour son bénéfique « coaching » tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier aussi, Dr. AIT SAADA Djamel Maitre de conférences « A » à l'Université de Mostaganem de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury et pour ses conseils précieux pendant toutes ces années.

Nos sincères remerciements vont également à, Mme BELMAHDI.F pour avoir accepté d'examiner ce travail et bien voulu faire partie des membres du jury et pour ses conseils précieux pendant toutes ces années.

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble du personnel du laboratoire de l'école supérieure d'agronomie et du laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem pour leur aide qu'ils nous ont offerte.

Enfin, on tient à remercier l'ensemble des enseignants du département d'agronomie qui ont participé à notre formation et à tous ceux qui ont participé de près ou loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, à tous ceux qui je porte dans mon cœur et à tous ceux qui sont chers à mes yeux...

A mes chères parents qui m'ont fourni au quotidien un soutien et pour leur éducation et sacrifices, que Dieu les protège et me les gardes.

A mes chères sœurs pour leur encouragement tout au long de mes études.

A mon neveu Abdessamed, mes grands-parents et à toutes ma famille.

A mes amis Abdelhadi, Habibou, Walid, Ghali, Abdou, Nassim, Sofiane, Qada.

A mes collègues de promotion de master contrôle de la qualité des aliments département d'agronomie.

A tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, merci à vous tous.

Cussama

Dédicace

« Je dédie à toute ma famille qui a toujours cru en moi et m'a toujours encouragé depuis toutes ces années, mes enseignants des cursus de licence et master en agronomie. Enfin, je dédie ce modeste travail à tous mes amis. »

Smail

Résumé

L'effet de la substitution partielle (25,50 et 75%) et complète (100%) de la farine de blé par la farine de lentilles (cruées ou torrifiées) sur la composition chimique, les FAN, les composés bioactifs, l'activité antioxydante et la qualité sensorielle du biscuit ont été étudiés.

Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que la valeur nutritionnelle des biscuits a été améliorée en substituant la farine de blé par la farine de lentilles. Les protéines et les minéraux ont atteint des niveaux intéressants de l'ordre de 27 et 3.9% respectivement. Parallèlement, le contenu en composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes respectivement) s'est amélioré d'environ 2 à 6 mg EAG/g et 0.1 à 2.4 mg EQ/g avec l'ajout de la farine de lentilles, ce qui confère au biscuit une activité anti-oxydante intéressante. Par ailleurs, les résultats obtenus ont permis aussi de montrer que, par opposition à la farine de lentilles crue, l'incorporation de la farine de lentilles torrifiée réduit les FAN des biscuits (phytates : -11.56 à -22.42% et tannins condensés : -35.80 à -71.60%).

Le profil sensoriel des biscuits à base de lentilles torrifiées à 25 et 50%, a révélé qu'elles sont classées comme produit meilleur par rapport au biscuit de blé pour les critères de goût et de saveur. Enfin les biscuits 100% farine de lentille peuvent être un aliment de régime qui pourra porter l'allégation « sans gluten », et leur procurent un large attrait chez les personnes cœliaques.

Mots-clés : lentilles, biscuit, torréfaction, FAN, qualité nutritionnelle.

Abstract

The effect of partial (25, 50, and 75%) or complete (100%) substitution of wheat flour by lentils flour (raw or roasted) on the chemical composition, FAN, bioactive compounds, antioxidant activity, and sensory quality of the biscuit was studied. The results of the Physico-chemical analyses show that the nutritional value of the biscuits was improved by substituting wheat flour with lentils flour, with protein and minerals reaching interesting levels in the order of (27 and 3.9%). At the same time, the content of bioactive compounds (polyphenols and flavonoides respectively) increases from about 2 to 6 mg EAG/g and 0.1 to 2.4 mg EQ/g with the addition of lentil flour, which gives the biscuit an interesting antioxidant activity.

Furthermore, the results obtained also showed that, in contrast to raw lentils flour, the incorporation of roasted lentil flour reduces the FANs of the biscuits (phytates: -11.56 to -22.42% and condensed tannins: -35.80 to -71.60%).

The sensory profile of the 25 and 50% roasted lentil biscuits revealed that they are classified as a better product than the wheat biscuit for the taste and flavor criteria. Finally, 100% lentil flour biscuits can be a diet food that can carry the title "gluten-free", and have a wide appeal to celiac.

Keywords: lentils, biscuit, roasting, FAN, nutritional quality.

ملخص

قد تمت دراسة آثار الاستبدال الجزئي (25، 50، و75%) و التام (100%) لدقيق القمح بدقيق العدس (الخام أو المحمص) على التركيبة الكيميائية، العوامل الغير الغذائية، المركبات الحيوية، العوامل المضاد للأكسدة وجودة المذاق للبسكويت.

تظهر نتائج التحليلات الفيزيوكيميائية تحسن في القيمة الغذائية للبسكويت بعد استبدال دقيق القمح بدقيق العدس، البروتينات والمعادن تصل إلى مستويات مثيرة للإهتمام (27 و3.9%). وفي الوقت نفسه، يتزايد محتوى المركبات النشطة بيولوجيا (البوليفينول والفلافونويدات على التوالي) من حوالي "2 إلى 6 مغ م.جغ/غ" و "0.1 إلى 2.4 مغ م.ك/غ" مع إضافة دقيق العدس الذي يعطي للبسكويت نشاط هام مضاد للأكسدة. بالإضافة إلى ذلك النتائج التي تم الحصول عليها أظهرت أنه بدلا من دقيق العدس الخام فإن دمج دقيق العدس المحمص يقلل من العوامل الغير غذائية للبسكويت (حمض الفيتيك 11.56 إلى 22.42%) و التانين المكتف،(35.80 إلى 71.60%).

كشفت الخصائص الحسية لبسكويت العدس الخام (25% و50%)، أنه مصنف كمنتج أفضل مقارنة ببسكويت القمح على حسب معايير النكهة والذوق. وأخيرا البسكويت 100% دقيق عدس قادر على أن يكون غذاء لحمية « خاليه من الغلوتين » ومنح جاذبيه واسعة للناس التي تعاني من حساسية الغلوتين (سيلياك).

الكلمات الرئيسية : العدس، البسكويت، التخميص، العوامل الغير غذائية و النوعية الغذائية.

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau01 : Liste des pays par production de lentilles « 2016 »..... | 5 |
| Tableau02 : Composition chimique de certaines légumineuses alimentaires | 7 |
| Tableau03 : Quantité d'acides aminés dans les protéines de lentille..... | 7 |
| Tableau04 : Teneur en minéraux des lentilles..... | 9 |
| Tableau05 : Teneur en vitamines des lentilles | 10 |
| Tableau06 : Teneur en composés phytochimique bioactif des lentilles | 11 |
| Tableau07 : Exemples de quelques produits à base de lentilles..... | 25 |
| Tableau08 : Information spécifiques des variétés de lentilles étudiée... .. | 26 |
| Tableau09 : Formulations utilisées pour la préparation des biscuits de lentilles..... | 28 |
| Tableau 10 : Composition biochimique de la FB et des FL étudiées..... | 39 |
| Tableau11 : IC50 des farines déterminé par la méthode de DPPH..... | 42 |
| Tableau12 : Effet de traitement de torréfaction sur les taninsdes biscuits à base de lentilles..... | 50 |
| Tableau13 : Effet de traitement de torréfaction sur lesphytates des biscuits à base de lentilles..... | 50 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Plante de lentille | 4 |
| Figure 02 : Cycle biologique de lentille..... | 4 |
| Figure 03 : Wilayas les plus producteurs de la lentille en Algérie..... | 5 |
| Figure 04 : Structure de base des flavonoïdes..... | 12 |
| Figure 05 : Structure chimique du raffinose, stachyose et verbascose..... | 16 |
| Figure 06 : Structure chimique des phytates | 16 |
| Figure 07 : Structure chimique des acides gallique (A) et ellagique (B)..... | 17 |
| Figure 08 : Structure chimique d'un tanin condensé..... | 18 |
| Figure 09 : Organigramme des étapes de fabrication des biscuits | 23 |
| Figure 10 : Graines de lentilles des cultivars Dahra et Syrie..... | 27 |
| Figure 11 : Farine de lentilles et farine de blé | 27 |
| Figure 12 : Diagramme de fabrication des biscuits de lentilles | 29 |
| Figure 13 : Les biscuits élaborés en différents pourcentage de lentille..... | 29 |
| Figure 14 : La décantation de la solution | 33 |
| Figure 15 : Les ballons contenant l'extrait lipidique | 34 |
| Figure 16 : Réaction des composés phénoliques avec le radical DDPH..... | 36 |
| Figure 17 : Biscuit témoin et biscuits de lentilles..... | 38 |
| Figure 18 : Teneur en cendre et taux humidité | 43 |
| Figure 19 : Teneur en protéine et en matière grasse..... | 45 |
| Figure 20 : Teneur en sucre soluble et en sucre réducteurs..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Figure 21 : Teneurs en polyphénols et en flavonoïdes..... | 48 |
| Figure 22 : Teneur en tanins et en phytates..... | 49 |
| Figure 23 : Activité antioxydante des biscuits évaluée par le test DPPH..... | 51 |
| Figure 24 : Qualité sensorielle des différents biscuits..... | 51 |
| Figure 25 : courbe d'étalonnage des sucres..... | 60 |
| Figure 26 : Courbe d'étalonnage des polyphénols..... | 60 |
| Figure 27 : courbe d'étalonnage des flavonoïdes..... | 61 |
| Figure 28 : courbe d'étalonnage des tanins..... | 61 |
| Figure 29 : Courbe d'étalonnage des phytates..... | 62 |
| Figure 30 : Courbe d'étalonnage des protéines..... | 62 |
| Figure 31 : Courbes d'inhibition des farines de lentilles..... | 63 |
| Figure 32 : Courbe d'inhibition du radical DPPH des biscuits torréfiés..... | 63 |
| Figure 33 : Courbe d'inhibition du radical DPPH des biscuits non torréfiés..... | 64 |

Liste des abréviations

µg : microgramme

BC : Biscuit contrôle ou biscuit témoin à base de farine de blé

B.C.D.NT : Biscuit de lentilles non torréfiées du cultivar Dahra

B.C.D.T : Biscuit de lentilles torréfiées du cultivar Dahra

B.C.S.229.NT : Biscuit de lentilles non torréfiées du cultivar SYRIA 229

B.C.S.229.T : Biscuit de lentilles torréfiées du cultivar SYRIA 229

C.D : cultivar Dahra « Chlef, commune Dahra »

C.S229: cultivar syrie.229 « wilaya de Tiaret »

Cd%: teneur de cendre en pourcentage

CFT : contenu en flavonoïdes totaux

CI50: concentration inhibitrice de 50% des radicaux libres

CPT : contenu en polyphénols totaux

CTC : contenu en tanins condensés

DNS : acide « di-nitrosalicylique »

DPPH : (2.2'- diphényl-1 picrylhydrazyl)

ECA : enzyme de conversion angiotensine

FAN : facteurs antinutritionnels

FB : farine de blé

FL : farine de lentille

g : Gramme

Ig : index glycémique

MCV : maladie cardio-vasculaire

mg EAG/g: milligramme équivalent acide gallique par gramme de lyophilisat

mg EAp/g de MS: milligramme équivalent acide phytique par gramme de matière sèche

mg EC/g.L : milligramme équivalent catéchine par gramme de lyophilisat

mg EQ/g: milligramme équivalent quercétine par gramme de lyophilisat

MG : matière grasse

mg : Milligramme

ML : millilitre

MM : matière minérale

P : masse de prise d'essai

Tpm : tours par minute

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale

Partie bibliographique

Chapitre I. Généralité sur la lentille (présentation, composition et intérêt nutritionnel)

| | |
|--|----|
| 1. Présentation..... | 3 |
| 2. Cycle biologique de la lentille | 3 |
| 3. Classification et taxonomie..... | 4 |
| 4. Production..... | 5 |
| 5. Production en Algérie..... | 6 |
| 6. Composition chimique | 6 |
| 6.1. Macronutriment..... | 7 |
| 6.1.1. Protéines..... | 7 |
| 6.1.2. Glucides..... | 8 |
| 6.1.3. Lipides..... | 8 |
| 6.2. Micronutriments..... | 8 |
| 6.2.1. Apport en minéraux..... | 8 |
| 6.2.2. Apport en fibres..... | 9 |
| 6.2.3. Apport en vitamines..... | 9 |
| 6.3. Composés bioactifs..... | 10 |
| 6.3.1. Les polyphénols..... | 11 |
| 6.3.2. Les flavonoïdes | 11 |
| 7. Intérêt nutritionnel des lentilles sur la santé humaine | 12 |
| 7.1. Effets antioxydant..... | 13 |
| 7.2. Effets anti-inflammatoire | 13 |
| 7.3. Effets sur le diabète | 13 |

| | |
|--|----|
| 7.4. Effets sur les maladies cardio-vasculaires..... | 13 |
| 7.5. Effets sur cancer colorectal..... | 14 |

Chapitre II. Facteurs antinutritionnels et traitements technologiques

| | |
|--|----|
| 1. Facteurs antinutritionnels..... | 15 |
| 1.1. Inhibiteurs de protéase..... | 15 |
| 1.2. Les galacto-oligosaccharides (GOS)..... | 15 |
| 1.3. Les phytates | 16 |
| 1.4. Les tanins | 17 |
| 1.4.1. Tannins hydrolysables..... | 17 |
| 1.4.2. Tannins condensés..... | 17 |
| 2. Traitements..... | 18 |
| 2.1. Décorticage..... | 18 |
| 2.2. Broyage..... | 18 |
| 2.3. Trempage..... | 19 |
| 2.4. Germination..... | 19 |
| 2.5. Torrification..... | 19 |
| 2.6. Cuisson..... | 19 |

Chapitres III. Incorporation des légumineuses dans la formulation du biscuit

| | |
|--|----|
| 1. Généralités sur les biscuits | 21 |
| 1.1. Définitions..... | 21 |
| 1.2. Les ingrédients utilisés dans les formulations de biscuits et leurs effets..... | 21 |
| 1.2.1. La farine..... | 21 |
| 1.2.2. L'eau..... | 21 |
| 1.2.3. La matière grasse..... | 21 |
| 1.2.4. Le sucre..... | 21 |
| 2. Processus de fabrication des biscuits..... | 23 |
| 3. Complémentation céréales-légumineuses | 23 |

Partie expérimentale

Chapitre I. Matériels et méthodes

| | |
|---|----|
| 1. Objectif..... | 26 |
| 2. Matériels et méthodes..... | 26 |
| 2.1. Laboratoire d'analyses..... | 26 |
| 2.2. Collecte et préparation des échantillons..... | 26 |
| 2.2.1. Matériel végétal..... | 26 |
| 2.2.2. Traitement technologique des graines de lentilles..... | 27 |
| 2.2.2.1. Torréfaction..... | 27 |
| 2.2.2.2. Préparation des farines de lentilles torréfiées | 27 |
| 2.3. Etapes de préparation de biscuit..... | 28 |
| 2.4. Analyse de la composition biochimique..... | 30 |
| 2.4.1. Composition chimique globale | 30 |
| 2.4.1.1. Détermination de la teneur en matière sèche et le taux d'humidité..... | 30 |
| 2.4.1.2. Détermination de la teneur en matière minérale..... | 30 |
| 2.4.1.3. Détermination de la teneur en protéines..... | 31 |
| 2.4.1.4. Détermination de la teneur en sucres..... | 31 |
| 2.4.1.4.1. Teneur en sucres solubles..... | 31 |
| 2.4.1.4.2. Teneur en sucres réducteurs..... | 32 |
| 2.4.1.5. Détermination de la teneur en matières grasses..... | 32 |
| 2.4.2. Analyse phytochimique..... | 34 |
| 2.4.2.1. Préparation de l'extrait végétal..... | 34 |
| 2.4.2.2. Détermination de la teneur en polyphénols..... | 34 |
| 2.4.2.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes..... | 35 |
| 2.4.3. Analyse des facteurs antinutritionnels..... | 35 |
| 2.4.3.1. Détermination de la teneur en tanins condensés..... | 35 |
| 2.4.3.2. Détermination de la teneur en acide phytique..... | 36 |
| 2.4.4. Evaluation de l'activité antioxydante des farines | 36 |
| 2.5. Analyses sensorielle des biscuits de lentilles..... | 37 |
| 2.5.1. Déroulement de l'analyse sensorielle..... | 37 |
| 2.6. Analyse statistique..... | 38 |

Chapitre II. Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| 1. Composition biochimique des farines étudiées..... | 39 |
| 1.1 Composition chimique globale..... | 39 |
| 1.2 Teneur en composée phytochimiques | 41 |
| 2. Evaluation du pouvoir antioxydant des farines..... | 41 |
| 3. Caractérisation des biscuits..... | 42 |
| 3.1 Composition biochimique des biscuits | 42 |
| 3.2 Evaluation du pouvoir antioxydant | 51 |
| 3.3 Analyse sensorielle | 51 |

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

Les légumineuses (lentilles, haricots, pois, soja et pois chiches) sont l'une des cultures les plus importantes en raison de leur qualité nutritionnelle et également pour leurs divers avantages agro-environnementaux. Les graines et les poudres de légumineuses sont des sources importantes de protéines, glucides, vitamines, minéraux et fibres alimentaires (Panozzo, 2007). En Algérie, les légumineuses alimentaires sont essentiellement cultivées pour leurs rôles en alimentation humaine et dans l'amélioration de la fertilité des sols dans le système de culture dominant à base de céréales. Les principales légumineuses alimentaires cultivées en Algérie sont la fève, le pois chiche, le pois sec et la lentille (Baljeet et al., 2014 ; Rosiak et al., 2015).

En comparant la vaste quantité de documents d'étude sur les lentilles, un ensemble de preuves convaincantes confirme que la lentille est l'un des aliments les plus nutritifs améliorant la santé de l'homme. Selon des définitions récentes les lentilles pourraient être considérées comme un produit prophylactique et thérapeutique fonctionnel en raison de son contenu considérable en macronutriments essentiels, à savoir les protéines fonctionnelles et glucides, et les micronutriments essentiels, ainsi que les composés phytochimiques bioactifs tels que les phytates, les tannins et les polyphénols. De plus, de nombreuses recherches démontrent que la consommation régulière d'aliments à base de légumineuses, en particulier de lentilles, peut réduire l'incidence de maladies inflammatoires chroniques, y compris le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires (MCV) et les cancers (Ley et al., 2014).

D'autre part, les légumineuses et les céréales ont toujours été non seulement cultivées ensembles, mais aussi consommées ensemble, les protéines des légumes secs et des céréales se complètent et fournissent des protéines de bonne valeur nutritionnelle. Chaque civilisation a mis au point sa propre combinaison de protéines complémentaires : riz et soja en Extrême-Orient, couscous et pois chiche en Afrique du nord, maïs et haricots secs en Amérique, mil et niébés en Afrique noire, blé, orge et haricots secs, lentilles, fèves, pois cassés en Europe (FAO, 1982).

Les légumineuses offrent aussi une source intéressante d'ingrédients pour la formulation des produits innovants. Longtemps dominé par le soja, les ingrédients trouvent leur origine dans d'autres légumineuses comme le pois, plus récemment la fève, ou le pois chiche. D'autres légumineuses commencent à faire leur apparition comme les lentilles.

De ce fait, et pour satisfaire la demande croissante des consommateurs en produits alimentaires sains, le biscuit pourrait être utilisé comme modèle dans la formulation de produits innovants.

Les habitudes alimentaires évoluent lentement depuis quelques années. Les consommateurs ont maintenant moins de temps pour prendre des repas complets, ce qui a favorisé une consommation accrue d'aliments de collation comme les biscuits qui sont un moyen idéal pour transporter de nombreux ingrédients bénéfiques sur le plan nutritionnel (Siro et *al.*, 2008; Ansari et Kumar, 2012).

Au fil des ans, plusieurs études ont été rapportées pour améliorer la valeur nutritionnelle des biscuits en incorporant des légumineuses et des graines oléagineuses tels que l'haricot, les pois chiches, l'orge, le niébé, le lupin, le soja et le maïs (Serrem., 2010).

Le but de ce travail est d'évaluer l'effet de la substitution de la farine de blé tendre par 25,50,75, et 100% de farine de lentilles crues ou torréfiées, sur la qualité nutritionnelle (composition chimique globale, teneur en facteurs antinutritionnels phytates et tanins condensés, teneur en composés bioactifs, activité antioxydante), et sur la qualité sensorielle du biscuit.

Partie
Bibliographique

CHAPITRE I. Généralité sur la lentille

1. Présentation

La lentille cultivée ou comestible (*Lens culinaris. Medik*) est une espèce de plantes dicotylédones appartenant à la famille des Fabaceae (légumineuses), de 45 cm de hauteur, porte des feuilles composés de six paires de folioles oblongues, les folioles supérieures étant transformées en vrilles, ses fleurs de pois bleu pâle sont suivies de gousses renflées contenant deux graines. Cette plante annuelle est largement cultivée pour ses graines comestibles riches en protéines.



Figure 01 : Plante de lentille

2. Cycle biologique de la lentille

Lorsque les températures sont optimales, les graines de lentille germent en 5 à 6 jours. La floraison débute 6 à 7 semaines après le semis. Le cycle de croissance est de 80 à 110 jours pour les cultivars à cycle court, et de 125 à 130 jours pour les cultivars à cycle long (BEGIGA G., 2006).

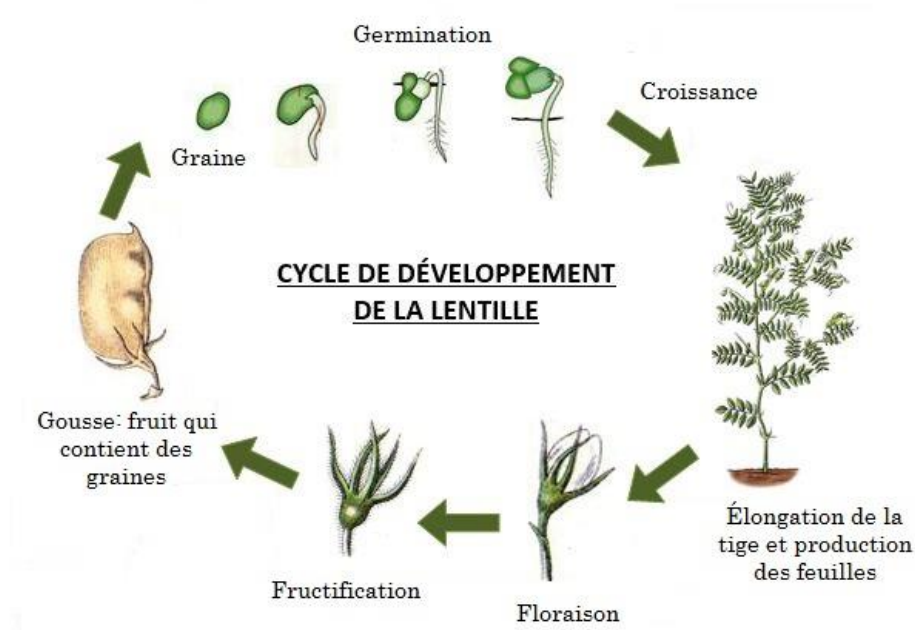


Figure 02 : Cycle biologique de lentille : Germination, Croissance, Élongation de la tige, Floraison, Fructification (Schwartz et Langham, 2012).

3. Classification et taxonomie

D'un point de vue taxonomique, la classification classique des lentilles se présente comme suit, (Cokkizgina, 2013 ; Anonyme 1, 2012):

Règne : Plantae

Sous Règne : Tracheobionta

Embranchement : Spermatophyta

Sous Embranchement : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous Classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae,

Genre : Lens

Espèce : *Lens culinaris*

4. Production

La production mondiale de lentilles en 2016 a été estimée auprès de 6,3 millions de tonnes sur une aire totale de 6,1 millions d'hectares (Faostat-Agriculture, 2016). Les principaux pays producteurs sont le Canada et l'Inde. De nos jours, ces deux pays produisent presque 68% de la production mondiale de lentille (près de 5Mt) de tous types confondus.

Les autres producteurs sont la Turquie, les Etats-Unis, l'Australie, et le Népal (tableau 01).

L'UE produit environ 60 000 tonnes, produites principalement en Espagne et en France (Schneider et al., 2015).

L'Afrique ne représente que 4,4% de la production de lentilles au niveau mondial, les seuls importants pays producteurs sont l'Éthiopie avec une surface moyenne de récolte de 113 685 ha et le Maroc (45438 tonnes sur 57980 d'ha) (FAOSTAT, 2017).

Tableau 01 : Liste des pays par production de lentilles (2016)

| Pays | Production (tonnes) | (En %) |
|-----------|---------------------|--------|
| CANADA | 3 233 800 | 51,2 |
| INDE | 1 055 536 | 16,7 |
| TURQUIE | 365 000 | 5,8 |
| USA | 255 061 | 4,0 |
| NEPAL | 253 041 | 4,0 |
| AUSTRALIE | 181 638 | 2,9 |

5. Production en Algérie

En Algérie, la lentille a été cultivée avant 1830 dans les jardins des fellahs (surtout en Kabylie). Jusqu'à 1940, une étude a révélé que les lentilles rencontrées en Afrique du Nord appartiennent aux deux variétés : la petite verte du puy et la lentille large blonde qui ont été les premières variétés européennes introduites en grandes cultures en Algérie. Ces deux variétés ont coexisté et des croisements naturels se sont produits qui ont donné naissance à la lentille large verte d'Algérie (Vandenberg et Slinkard, 1990).

La culture des lentilles n'occupe que 1.5% de la totalité des terres réservées aux légumineuses alimentaires en Algérie (Ait Abdellah et al. 2011), elle s'étale sur de grandes surfaces dans les hautes plaines (Tiaret, Saida, Sétif) et les plaines intérieures (Bouira, Médéa, Mila), ainsi que dans la région de Constantine. Les productions de lentilles ont progressivement évolué entre 2006 et 2013 où l'on a pu noter des collectes brutes maximales de l'ordre de 15523,04 qx.

Cette évolution est liée à l'élargissement des superficies destinées à cette culture, ainsi qu'au nombre d'agriculteurs s'y intéressant.

Une chute brusque des superficies de la culture de lentille a été enregistrée dès 2013. Parmi les causes, le problème de la mécanisation de la récolte qui engendre beaucoup de perte du fait de la verse et de l'égrenage des gousses à la maturité. Aussi, le contrôle des mauvaises herbes est un facteur non encore maîtrisé par les agriculteurs (Boukhemis B et al., 2018).

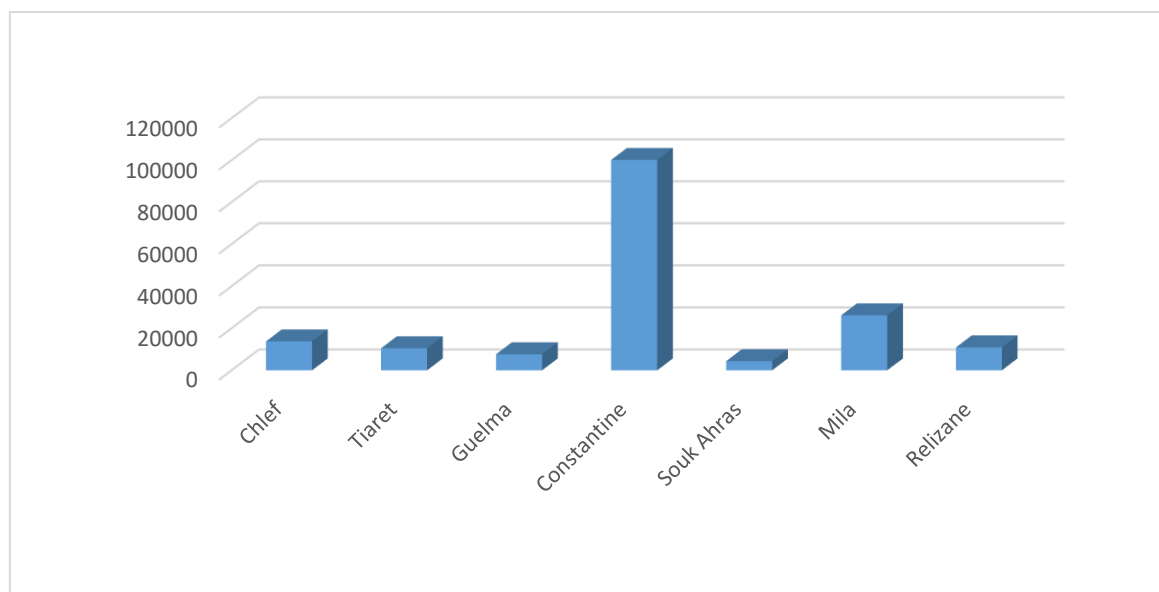


Figure 03 : Wilayas les plus productrices de la lentille en Algérie (2012)

6. Composition biochimique

Les graines de légumineuses y compris les lentilles représentent une part cruciale dans l'alimentation humaine due à leurs propriétés nutritionnelles recherchées. Elles constituent une importante source de protéines pour de larges catégories de population dans le monde, en particulier, dans les pays où la consommation des protéines animales est limitée.

En plus d'être une source riche et moins chère en protéines, les légumes secs (pauvres en lipides) sont une excellente source de fibres, de glucides complexes, de vitamines (B9) et de minéraux (en particulier le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le fer et le zinc), et de composés bioactifs (Liener, 1962).

La composition chimique globale de quelques légumineuses est résumée dans le Tableau 02, ci-dessous.

Tableau 02 : Composition chimique (g/100g) de certaines légumineuses alimentaires (Zhou et al., 2013 ; Ndife et al., 2011 ; Sanjeewa et al., 2010).

| Légumineuse | Protéines (g) | Lipides (g) | Glucides (g) | Fibres (g) | Minéraux (g) |
|--------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Lentille | 25,8 | 1,60 | 60-62 | 30,5 | 2,67 |
| Soja | 36-39 | 10-19,9 | 30-36 | 6,5-9,3 | 2,5-4,9 |
| Pois chiche | 19-27 | 6-7,6 | 60-64 | 17,4-22 | 2,48-3 |
| Pois | 19-27 | 6-7,6 | 60-64 | 17,4-22 | 2,48-3 |
| Fèverole | 26,12 | 1,53 | 58,29 | 25 | 2,08 |
| Haricot | 21,6 | 1,42 | 62,36 | 15,2 | 3,6 |

6.1. Macronutriments

6.1.1. Protéines

Les lentilles sont considérées comme une bonne source de protéines végétales qui participent pleinement à la diversité alimentaire et peuvent être un bon substitut à la viande. Cette teneur élevée en protéines les rend une source de nourriture importante pour les pays en voie de développement et les personnes à faible revenu, c'est pour cela on l'appelle parfois « la viande du pauvre » (Hoover R et al., 2010).

Aussi, les lentilles sont des sources pour certaines protéines de stockage qui sont décrites comme des protéines biologiquement actives, comme les lectines (El-AdawyTAetal., 2003). Les lectines végétales sont un groupe unique de protéines et de glycoprotéines dans les lentilles à forte activité biologique. Plusieurs lectines possèdent des propriétés anticancéreuses in vitro, in vivo et dans des études de cas sur des humains (Mejia EGL, Prisecaru VI 2005).

Tableau 03 : Quantité d'acides aminés dans les protéines de lentille (100g) (Souci et al., 2008)

| Acides aminés | | | |
|----------------------|---------|---------------|---------|
| Acide aspartique | 3160 mg | Tyrosine | 840 mg |
| Acide glutamique | 4490 mg | Lysine | 1890 mg |
| Alanine | 1290 mg | Méthionine | 220 mg |
| Arginine | 2240 mg | Phénylalanine | 1400 mg |
| Cystine | 250 mg | Proline | 1220 mg |
| Glycine | 1300 mg | Tryptophane | 250 mg |

6.1.2 Glucides

Les glucides totaux représentent le principal composant des graines de lentilles qui fournit principalement de l'amidon en occupant la majeure partie de sa masse glucidique (tableau 1).

La fraction glucidique comprend des sucres individuels solubles tels que le fructose, glucose et le saccharose (de 1 à 2,5%), des polysaccharides et l'amidon (35 à 63%) avec une teneur en amylose de 20 à 45,5% (Yadav et al., 2007). Parmi les 23 grains de légumineuses, le pourcentage de rendement en amidon des lentilles arrive au deuxième rang, avec 47,1 % (Amarowicz, Retal., 2004).

Grâce à cette richesse en glucide complexe, les graines de lentilles ont un index glycémique bas: leurs glucides digérés lentement, n'occasionnent pas de pic de glycémie (taux de sucre sanguin). Elles sont donc particulièrement recommandées en cas de diabète.

6.1.3. Lipides

Les lentilles presque ne contiennent pas de lipide ou contiennent relativement peu de matières grasses. Ryan et ses collaborateurs (2007) ont constaté que les graines de lentilles contenaient un gras total d'environ 1,4 g/100 g, réparti de façon inégale sur les fractions grasses comme suit : acides gras saturés 16,7 %, acides gras mono-insaturés 23,7 % et acides gras polyinsaturés 58.8 %.

6.2. Micronutriments

6.2.1. Apport en minéraux

La lentille contient de nombreux sels minéraux et oligo-éléments en quantité notable avec une valeur comprise entre 3 et 5 g/100 g (potassium, magnésium, fer, zinc..) (Tableau 04). Elle est une bonne source de cuivre, de manganèse et de sélénium, trois oligo-éléments qui comptent parmi les anti-oxydants.

Son apport en fer n'est pas négligeable et peut être valorisée par l'association à de la vitamine C (persil, agrume, poivron...), qui améliore l'assimilation du fer d'origine végétale (Padovani RM et al., 2007).

Tableau04 : Teneur en minéraux des lentilles (Souci et al., 2008)

| Minéraux | Teneur (pour 100g) |
|-----------------|---------------------------|
| Calcium | 65 mg |
| Cuivre | 0,763 mg |
| Fer | 8.0 mg |
| Magnésium | 129 mg |
| Manganèse | 1,5 mg |
| Phosphore | 408 mg |
| Potassium | 837 mg |
| Sodium | 6,6 mg |
| Zinc | 3.4 mg |

6.2.2. Apport en fibres

La lentille est très riche en fibres, fournissant près de 40% de la valeur nutritionnelle de référence par portion de 100g. Il s'agit principalement de cellulose et d'hémicellulose, particulièrement efficaces pour réguler le transit intestinal. Ces fibres contribuent aussi aux bonnes sensations de rassasiement et de satiété procurées par la lentille (Hernandez-Salazar M et al., 2010).

6.2.3. Apport en vitamines

La lentille apporte l'ensemble des vitamines du groupe B, à l'exception de la vitamine B12. Elle est très riche en vitamine B9, qui est essentielle au bon fonctionnement du système nerveux, dont elle fournit plus de 90% de la valeur nutritionnelle des références par petite portion de 100 g. Elle est une bonne source de vitamine B1, utile à l'organisme pour bien utiliser les glucides. Elle présente aussi de bonnes teneurs en vitamines B2, B3 et B5. Elle contribue plus modestement à l'apport de vitamine E (Tableau 05) (Ryan E et al., 2007).

Tableau 05 : Teneur en vitamines des lentilles (Souci et al., 2008)

| Vitamines | Teneur (pour 100g) |
|------------------|-------------------------------|
| Vitamine B1 | 0,12 mg |
| Vitamine B2 | 0,06 mg |
| Vitamine B3 | 0,66 mg |
| Vitamine B5 | 0,47 mg |
| Vitamine B6 | 0,17 mg |
| Vitamine B9 | 56,8 µg |
| Vitamine C | 1,75 mg |
| Vitamine E | 0,26 mg |

6.3. Composés bioactifs

Les bioactifs sont des composés qui se produisent généralement en petites quantités dans les aliments et peuvent être bénéfiques pour la santé. Les composants bioactifs des graines de lentilles pourraient être classés en différents composés fonctionnels selon leur structure chimique, les quantités des principaux phytochimiques bioactifs des lentilles sont présentés dans le tableau 06.

Tableau06 : Teneur en composés phytochimiques bioactifs des lentilles (Duenas M et al., 2003)

| Composés phytochimiques | Teneur (pour 100g) |
|----------------------------|------------------------------|
| Les polyphénols totaux | 26 mg EAG |
| Les flavonoïdes | 221mgéquivalent catéchine. |
| Glycosides de flavonons | 33,1-186,0 µg |
| Glycosides de flavonols | 9,6-241 µg |
| Prodelphinidines | 369-725 µg |
| Acide parahydroxybenzoïque | 4,5-28,4 µg |
| Acides hydroxycinnamiques | 11.7–29.5 l µg |
| Catéchine | 919–1,633 l µg |
| Gallocatechol | 140 µg |
| Tanins condensés | 870 mg équivalent catéchine. |
| Acide phytique | 620 mg |
| Phytostérols totaux | 22.9–31.6 mg |

6.3.1. Les polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires, d'un poids moléculaire élevé, ils sont largement distribués dans le règne végétal (Haslam, 1988). La structure de base qui les caractérise est la présence d'un ou plusieurs noyaux aromatiques auquel sont directement liés un ou plusieurs groupements hydroxyle libres ou engagés dans une autre fonction éther et ester (Harborne, 1994).

Puisque ces composés sont principalement localisés dans son enveloppe, la lentille décortiquée en apporte 6 fois moins. Les polyphénols, ainsi que le cuivre, le manganèse et le sélénium, confèrent à la lentille une activité anti-oxydante utile à la prévention de multiples maladies, notamment les maladies cardiovasculaires et et le cancer (Amarowicz R et all., 2009).

6.3.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes (plus de 4000) ont une origine biosynthétique commune et de ce fait, ils possèdent la même structure de base (Figure 04). Ces composés existent sous forme libre dite aglycone ou sous forme d'hétérosides, c'est à-dire liée à des oses et autres substances (Heller et Forkmann, 1993).

Les flavonoïdes sont des composés qui peuvent empêcher les dommages oxydatifs par différents mécanismes d'actions : soit par capture des radicaux hydroxyles, superoxydes, alkoxyles et peroxydes (Hodek et al., 2002), soit par chélation des métaux (le fer et le cuivre) qui sont d'importance majeure dans l'initiation des réactions radicalaires ,soit l'inhibition des enzymes responsables de la génération des radicaux libres (Van Acker et al., 1996 ; Benavente-Garcia et al., 1997). Ils jouent un rôle très important dans le traitement du diabète (inhibant l'aldose réductase), de la goutte (inhibant la xanthine oxydase), des inflammations (inhibant la lipoxygénase, la phospholipase et la cyclooxygénase), des hépatites, des tumeurs, de l'hypertension (quercétine) et des thromboses (flavanols) (Anderson et al., 1996 ; Cowan, 1999).

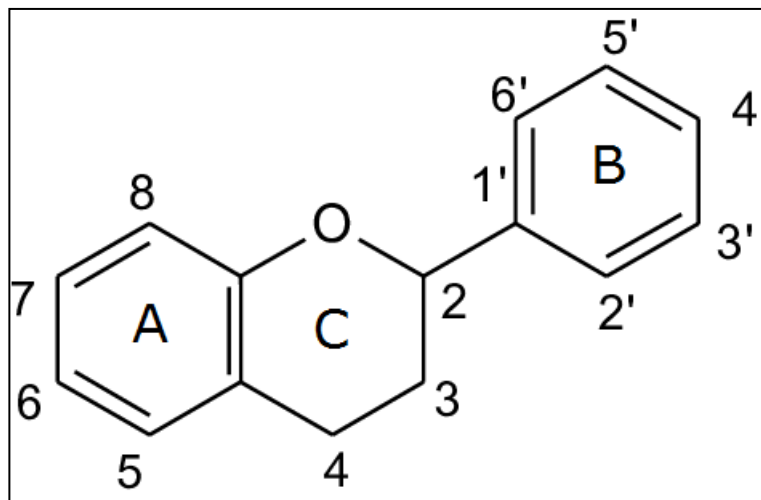


Figure04 : Structure de base des flavonoïdes (Macheix et al., 2006).

7. Intérêt nutritionnel des lentilles sur la santé humaine

Au cours des dernières années, de nombreuses études ont montré que les légumineuses, y compris les lentilles, peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine au-delà de la satisfaction des besoins fondamentaux en nutriments (Rochfort et Panozzo, 2007). Des études épidémiologiques et interventionnelles suggèrent que la consommation de légumineuses joue un rôle important dans la prévention et la gestion d'un certain nombre de problèmes de santé, et elle est inversement associée à l'incidence de plusieurs maladies chroniques, comme les maladies coronariennes, le diabète de type II, les maladies cardiovasculaires, le cancer et le vieillissement.

7.1. Effets antioxydant

De façon fascinante, les lentilles présentaient la capacité antioxydante totale (TAC) la plus élevée parmi les légumineuses testées (Pellegrini N et al., 2006).

Les phytonutriments des lentilles pourraient combattre le stress oxydatif qui est défini comme un déséquilibre entre la production d'oxydants ou espèces réactives de l'oxygène (ROS) et leur élimination, impliqués dans diverses maladies humaines, notamment les maladies cardiovasculaires, les troubles neuroaux tels que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson (15-17), en maintenant l'équilibre entre les oxydants et les antioxydants.

7.2. Effets anti-inflammatoire

Comme les réactions inflammatoires comprennent souvent la formation de produits d'oxydation dommageables pour les tissus, les composés à forte activité antioxydante peuvent inhiber l'inflammation. Les lentilles sont utilisées depuis longtemps par nos ancêtres pour traiter certains symptômes inflammatoires, comme les infections cutanées et le traitement des brûlures, après avoir été torrifiées, moulues et appliquées directement sur les zones touchées (Sezik et al., 2001; Teklehaymanot et al., 2007).

7.3. Effets sur le diabète

Une des caractéristiques des légumineuses est d'avoir un index glycémique (I.G) très bas qui va permettre au corps de maintenir un taux de sucre sanguin normal, et prévenir le diabète de type 2 (Sievenpiper J et al., 2009). A titre d'exemple, la consommation durant 3 mois de 200g/jour de légumineuses a provoqué une réduction significative d'HbA1c (hémoglobine glyquée), de cholestérol et de triglycérides, ainsi qu'une diminution de la pression artérielle systolique et diastolique chez des patients souffrant de diabète de type 2 (Jenkins et al., 2012).

7.4. Effets sur les maladies cardio-vasculaires

La consommation de légumineuse a été inversement associée à l'incidence des maladies cardiovasculaires (MCV), y compris l'hypertension (Flight I, Clifton P, 2006). Les hydrolysats de protéines de lentilles pourraient contribuer aux effets de réduction de la pression artérielle en raison de leur activité inhibitrice de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) (Boye et al., 2010).

La consommation de légumineuses est associée à une réduction de 22% du risque de développer une maladie coronarienne, et de 11% des maladies cardio-vasculaire (MCV), cette réduction est expliquée par l'action des légumineuses sur certains facteurs de risque des MCV

par la réduction du cholestérol LDL, l'augmentation du cholestérol HDL, la baisse de la pression artérielle, le maintien d'une glycémie normale et la gestion du poids surtout chez les sujets obèses (Bazzano LA et al., 2001).

7.5. Effets sur le cancer colorectal

Les lentilles sont une composante alimentaire traditionnellement consommée dans les populations où les cancers du côlon, du sein et de la prostate sont faibles (Correa P, 1981). Dans une étude prospective portant sur 90 630 femmes, les lentilles et les haricots étaient les deux seuls aliments qui présentaient une association inversée avec le risque de cancer du sein (Adebamowo CA et al., 2005).

La consommation des légumineuses, y compris de lentilles peut avoir un effet protecteur contre certains cancers en particulier les cancers colorectaux, donc associée négativement au risque de développer un cancer colorectal (Agurs-Collins T et al., 2006).

La consommation de quatre portions ou plus de légumineuses par semaine présentaient une incidence plus faible d'adénomes colorectaux que ceux qui ont déclaré consommer une portion ou moins (Nurses Health Study, 2008).

CHAPITRE II. Facteurs antinutritionnels et traitements technologiques

1. Facteurs antinutritionnels

Les facteurs antinutritionnels (FAN), sont des molécules qui limitent la digestion et l'absorption des nutriments causant la diminution de leur biodisponibilité, et qui provoquent des flatulences. Cependant, leur présence confère aux légumineuses un système de défense contre les prédateurs tels que les parasites, les champignons, les insectes et les herbivores (Rachwa-Rosiak et al., 2015).

Les graines de lentilles contiennent également des facteurs antinutritionnels (Yadav et al., 2007) tels que les inhibiteurs de protéase, les tanins, les phytates, les oligosaccharides ou les phytohémagglutinines qui causent des flatulences et qui peuvent même traverser la barrière gastro-intestinale, elles peuvent atteindre les liquides organiques et les tissus où elles pourraient exercer plusieurs fonctions physiopathologiques.

Ces facteurs antinutritionnels peuvent être minimisés selon (Jumbunathan et al., 1994) par une simple transformation tel que la torrification, la cuisson, la fermentation ou la germination, et suffit à améliorer la disponibilité des nutriments.

1.1. Inhibiteurs de protéases

Les inhibiteurs de protéases sont des protéines à poids moléculaire allant de 5 à 20 kDa, qui se fixent d'une façon quasi irréversible sur certains enzymes digestives (trypsine et chymotrypsine). Historiquement, les inhibiteurs de protéases ont été considérées comme des composants antinutritionnels des graines de légumineuses, en raison de leur propriété de diminuer la digestibilité des protéines alimentaires (Guillamon E et al., 2008).

1.2. Les galacto-oligosaccharides(GOS)

À côté de l'amidon, les lentilles contiennent des oligosides, dont certains appelés galacto-oligosaccharides (GOS), composés de saccharose couplé à une à trois unités α -galactosidiques (raffinose, stachyose, verbascose). Ces sucres ne sont pas digestibles dans le grêle en l'absence d'enzymes spécifiques car les liaisons α -galactose-glucose sont non hydrolysables par les enzymes digestives intestinales et parviennent donc non digérés dans le côlon où ils subissent une fermentation responsable de ballonnement et d'inconfort digestif. Le trempage des graines ou la germination réduit beaucoup ces GOS.

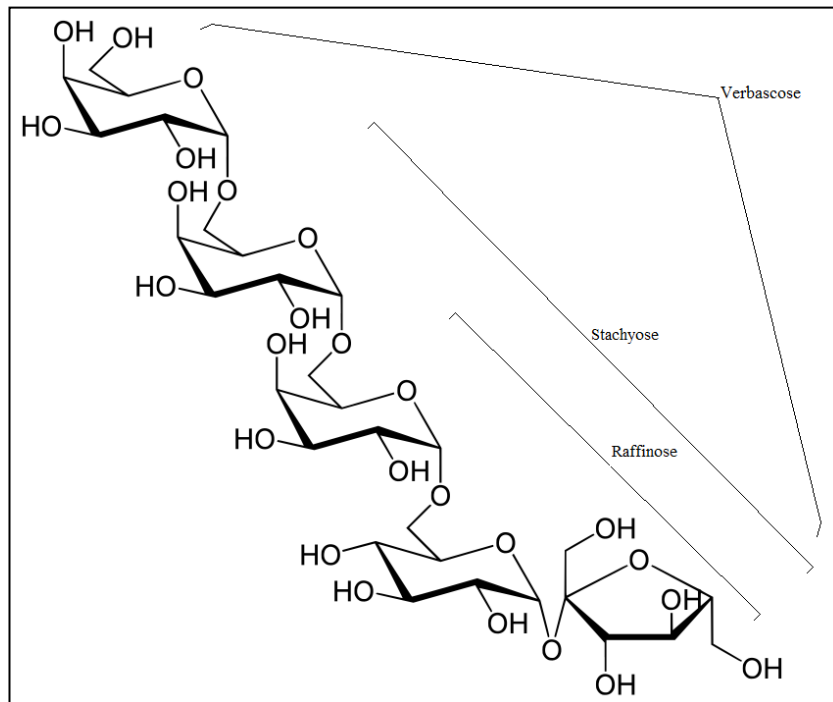


Figure 05 : Structure chimique du raffinose, stachyose et verbascose.

1.3. Les phytates

Les sels d'acide phytique, est un composant végétal omniprésent qui constitue de 1 à 5 % en poids de la plupart des légumineuses, il est considéré comme la principale source de phosphore dans leurs graines (Graf E et al., 1990).

Les lentilles sont considérées comme de bonnes sources d'acide phytique et de ses phytates connexes, qui diminuent la biodisponibilité des cations. Il ralentit l'absorption du fer et il altère également l'absorption du calcium, du zinc et du magnésium. L'acide phytique réduit aussi la digestibilité des protéines et lipides.

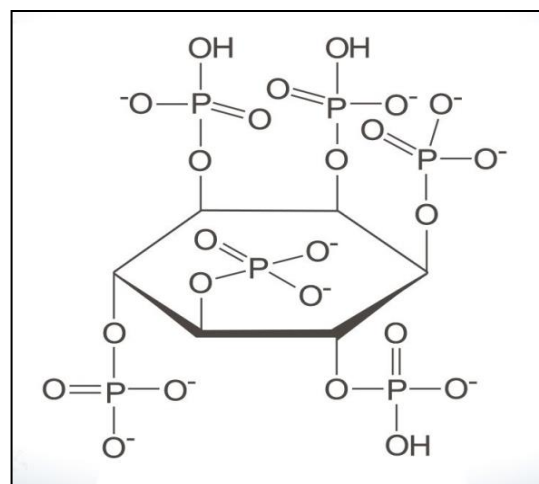


Figure 06 : Structure chimique des phytates

1.4. Les tanins

Les tanins des légumineuses sont essentiellement des tanins condensés ou catéchiques. Ce sont des composés poly phénoliques, relativement thermostables. Ils sont caractérisés par leur aptitude à se combiner aux protéines pour former des complexes insolubles qui précipitent. Les tanins se lient aux protéines de l'aliment mais également avec celles des sucres digestifs (enzymes) bloquant ainsi leurs sites actifs. Il en résulte une forte baisse de la digestibilité notamment des protéines mais aussi de l'amidon et donc de l'énergie de l'aliment. (Carbonaro et al., 1997)

On distingue deux groupes de tanins différents par leur structure et par leur origine :

1.4.1. Tanins hydrolysables

Tanins hydrolysables sont des oligo ou des polyesters d'un sucre et d'un nombre variable d'acide phénol. Le sucre est très généralement le D-glucose et l'acide phénol est soit l'acide gallique dans le cas des gallotannins soit l'acide ellagique dans le cas des tanins classiquement dénommés ellagitannins (Figure 07) (Bruneton, 1993 ; Cowan, 1999).

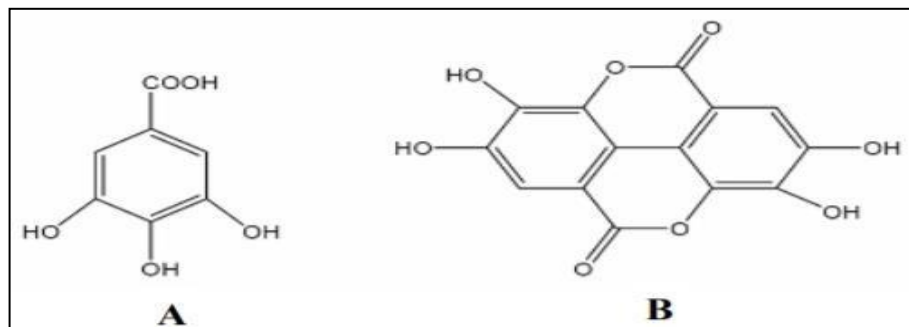


Figure 07 : Structure chimique des acides gallique (A) et ellagique (B).

1.4.2. Tanins condensés

Tanins condensés ou tanins catéchiques ou proanthocyanidols qui se différencient fondamentalement des tanins hydrolysables car ils ne possèdent pas de sucre dans leur molécule et leur structure est voisine de celle des flavonoïdes. Il s'agit des polymères flavaniques constitués d'unités de flavan-3-ols liées entre elles par des liaisons carbone-carbone (Bruneton, 1999). Ils jouent un rôle dans la protection contre les rayons ultraviolets, la sécheresse et contre les prédateurs naturels (insectes et herbivores) (Aufreere et al., 2012).

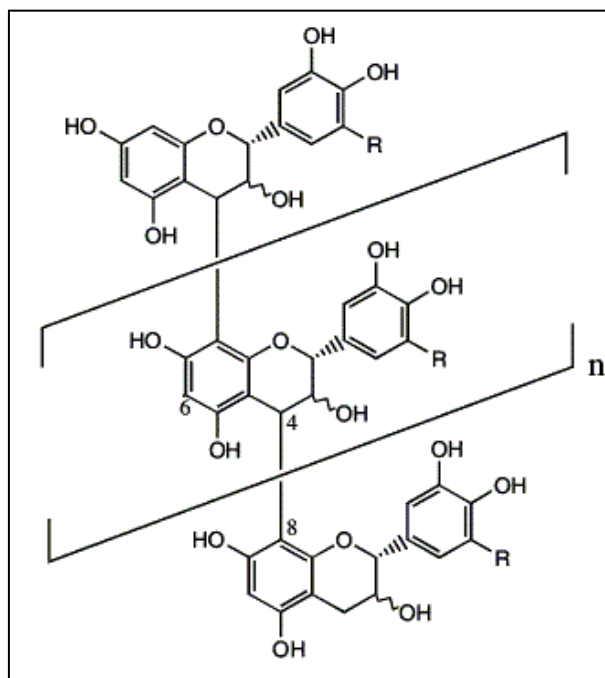


Figure 08 : Structure chimique d'un tanin condensé (Royer et al., 2012)

2. Traitements

Les graines de légumineuses sont rarement consommées crues. Elles sont soumises à des traitements divers, selon les pratiques traditionnelles et les préférences gustatives. Plusieurs auteurs ont rapporté l'intérêt des traitements (physiques, biochimiques et thermiques) dans la réduction et/ou l'élimination des facteurs anti nutritionnels (FAN), et dans l'amélioration de la digestibilité de ces graines (Singh, 1988 ; El-Adawy, 2002 ; Han et al., 2006 ; Khattak et al., 2008).

2.1. Décorticage

Le décorticage de la graine diminue la teneur en fibres, par conséquent, de façon proportionnelle, la teneur des autres nutriments augmente, et améliore ainsi la valeur nutritive comparé à la graine entière. La majorité des tannins (79 à 86%) sont situés dans le tégument des graines, grâce au décorticage, 75 à 93% de la teneur en tannins sont éliminés (Rao et Deosthale, 1982). Néanmoins, ce procédé n'élimine pas les FAN thermolabiles (inhibiteurs de protéases, α -galactosides et lectines).

2.2. Broyage

Le broyage est un traitement mécanique qui permet de réduire les aliments en particules de taille plus fine. Ce procédé induit une détérioration des granules d'amidon, qui deviennent plus sensibles à l'hydrolyse enzymatique. En plus, la teneur en minéraux (calcium, le fer, et le zinc)

diminue significativement dans les poudres qui en résultent. Le broyage améliore la digestibilité de l'amidon, et diminue néanmoins celle des protéines (Tuan et Phillips, 1991).

2.3. Trempage

Le trempage est souvent réalisé avant ou conjugué avec d'autres traitements comme la germination, la fermentation, la cuisson et la mise en conserves. Il permet aux graines de s'imbibber d'eau à l'intérieur de ses cellules, et de gonfler suite à l'hydratation. Ce phénomène, induit un lessivage des molécules solubles telles que les monosaccharides, les disaccharides, les oligosaccharides, les polyphénols solubles et l'acide phytique.

Le trempage (toute une nuit) des graines de pois chiche, entraîne une baisse de 53% des tannins (Rao et Deosthale, 1982). Ce traitement, améliore la digestibilité de l'amidon, et réduit la teneur en inhibiteurs de protéases (Saxena et al., 2003).

2.4. Germination

La germination est à l'origine de nombreuses modifications biochimiques dans les graines de légumineuses. Elle améliore leur qualité nutritionnelle, en augmentant la teneur des vitamines (acide ascorbique, riboflavine, niacine, tocophérols, thiamine et acide pantothénique), et en réduisant la teneur en FAN (tannins, acide phytique et α - galactosides). Ce procédé améliore aussi la digestibilité des protéines et de l'amidon (Finney et al., 1982 ; Uebersax et Occeña, 2003 ; Mahadevamma et Tharanathan, 2003).

2.5. Torréfaction

La torréfaction est une opération essentielle et l'un des procédés de transformation les plus fréquents pour les graines (Buckholz et al., 1980 ; Moss et Otten, 1989 ; Shimoda et al., 1997).

La torréfaction vise à augmenter la palatabilité du produit. Elle favorise significativement le développement de la couleur, flaveur, texture et apparence des graines. Le produit résultant est raffiné et très apprécié du consommateur par comparaison aux graines crues (Pattee et al., 1995).

La torréfaction détruit également les microorganismes indésirables et inactive les enzymes qui favorisent la détérioration du produit au cours du stockage. Ce traitement permet la préservation des nutriments, vu que c'est un traitement sec, comparé à la cuisson humide qui cause le lessivage (Buckholz et al., 1980).

2.6. Cuisson

Les graines de légumineuses peuvent être cuites dans l'eau bouillante, à la vapeur, à haute pression (autoclavage), au micro-onde, comme elles peuvent subir une extrusion. Rehman et

al., (2004) ont rapporté que la cuisson des graines de légumineuses, s'accompagne d'une réduction de la teneur en protéines, en minéraux, en sucres solubles, en amidon, en acide phytique et en tannins.

CHAPITRE III. Incorporation des légumineuses dans la formulation du biscuit

1. Généralités sur les biscuits

1.1. Définition

L'origine du mot biscuit est "Bis-Cuit", qui signifie subir une double cuisson. A l'origine, le biscuit était en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (Gallagher, 2008).

Le biscuit est préparé essentiellement à partir d'un ou plusieurs produits céréaliers moulus tels que le blé, le riz, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs. Il peut aussi contenir des légumineuses, des racines amylacées, des tiges amylacées ou des graines d'oléagineux en faible proportion.

En outre, il est à base de matière sucrante, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles, après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois (Kiger in Gorga, 2014).

1.2. Les ingrédients utilisés dans les formulations de biscuit et leurs effets

La farine, l'eau, la matière grasse et les différents types de sucres constituent les ingrédients essentiels pour confectionner des produits de biscuiterie. D'autres éléments tels que l'œuf, le lait, les produits laitiers, le miel, les fruits, les produits chocolatiers, les noix, l'amande et la levure peuvent également entrer dans la composition. En fonction de la composition, il existe une large palette de recettes de biscuit (Gallagher, 2008 ; Ardent *et al.*, 2009).

1.2.1. La farine

La farine de blé tendre est l'ingrédient principal de la majorité des biscuits. C'est le produit élaboré à partir des grains de blé ordinaire, *Triticum aestivum*, ou blé ramifié, *Triticum compactum*, ou tous mélanges de ces derniers (CODEX STAN 152-1985).

L'utilisation très répandue de la farine dans la préparation de la pâte des biscuits est liée à sa capacité à retenir le gaz, quand elle est mélangée avec de l'eau, ces composants protéiques forment un réseau élastique capable de piéger les gaz et de développer une structure ferme et mietteuse pendant la cuisson (Abdel-aal, 2009). La valeur technologique d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinale, c'est à dire une pâte qui ne doit pas coller, mais doit résister à un certain degré de brisure et pouvoir s'étendre en couches minces sans se

briser, sans craqueler à la surface, ni se rétrécir, ni se crêper et aussi donner un biscuit de qualité (Fustier, 2006).

1.2.2. L'eau

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques et assure la dissolution des composés solubles (Ndangu, 2015).

1.2.3. La matière grasse

La matière grasse est un ingrédient très important dans la fabrication des biscuits. Elle est d'habitude de nature semi-solide à température ambiante pour qu'elle se mélange bien et sans problème avec les autres ingrédients.

Elle contribue à la plasticité de la pâte et agit en tant que lubrifiant. Ainsi, dans le cas des pâtes fermes à faible taux d'hydratation (biscuits secs), la matière grasse accroît la plasticité de la pâte, ce qui se traduit par une diminution de sa consistance sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'eau supplémentaire (Kiger et Kiger, 1967 ; Menard et al., 1992).

Sur le plan organoleptique, le corps gras communique au produit, lorsque celui-ci ne contient aucun parfum surajouté, sa saveur et son arôme. En outre, il faut rappeler la grande valeur alimentaire des corps gras tant au point de vue source de vitamines que de calories, dont l'apport au mélange sucre-farine fait que les biscuits sont des produits nutritionnellement bien équilibrés (Kiger et Kiger, 1967).

1.2.4. Le sucre

Le sucre présent dans les biscuits affect le goût, les dimensions, la couleur, la dureté et la surface du produit fini. L'effet du sucre sur le comportement de la pâte est un facteur important dans la fabrication des biscuits. En excès, le sucre cause un ramollissement de la pâte, due en part à la compétition entre le sucre ajouté et la disponibilité de l'eau dans le système. Il rend le produit cuit fragile comme il contrôle l'hydratation et tend à disperser les molécules des protéines et d'amidon ce qui résulte en une prévention de la formation d'une masse continue (Maache-rezzoug *et al.*, 1998a).

Le saccharose est le sucre principal utilisé dans l'industrie biscuitière. En général, quand la taille des cristaux du sucre augmente, la taille et la symétrie des biscuits diminuent alors que l'épaisseur augmente (Gallagher, 2008). Et comme le sucre garde l'eau, il joue le rôle d'un durcisseur, et cause la cristallisation des cookies pendant le refroidissement ce qui les rend croustillant et friable (FUSTIER, 2006).

2. Processus de fabrication des biscuits

La fabrication de biscuits secs repose essentiellement sur huit grandes étapes qui sont : le mixage, pétrissage, fermentation, laminage, mise en forme, cuisson, refroidissement et conditionnement.

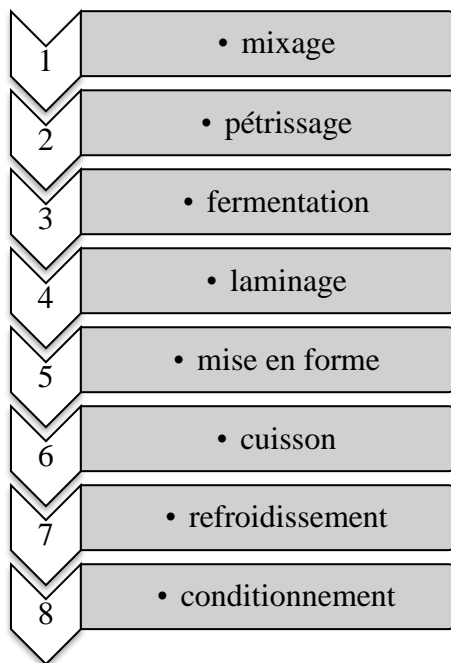


Figure 09 : Organigramme des étapes de fabrication des biscuits (Yadav et al., 2012; Denis, 2011).

3. Complémentation céréales-légumineuses

Depuis les débuts de l'agriculture, les céréales et les légumineuses ont toujours été cultivées ensemble. Associées et consommées ensemble, les protéines des légumes secs et des céréales se complètent et fournissent des protéines de bonne valeur nutritionnelle. Ainsi, les protéines des céréales trouvent un supplément de lysine dans celles des légumineuses qui en sont riches. Ces dernières trouvent une compensation en acides aminés soufrés dans les protéines des céréales qui en ont une bonne teneur. En outre, leur consommation simultanée donne aux protéines absorbées plus de valeur que si ces aliments étaient mangés séparément (FAO, 1982).

Chaque civilisation a mis au point sa propre combinaison de protéines complémentaires.

Citons : riz et soja en Extrême-Orient, couscous et pois chiche en Afrique du nord, maïs et haricots secs en Amérique, mil et niébés en Afrique noire, blé, orge, seigle, avoine et haricots secs, lentilles, fèves, pois cassés en Europe (FAO, 1982 ; FAO, 1990).

En outre, les légumineuses complètent les céréales non seulement pour les protéines, mais aussi pour les minéraux et les vitamines du groupe B (FAO, 1982). C'est ainsi que dans de nombreux pays la supplémentation avec des farines de légumineuses est exploitée pour la fabrication de farines diététiques, particulièrement pour les nourrissons et les enfants en bas âge.

Toutefois, il existe pour les mélanges de céréales et de graines de légumineuses, certaines proportions qui portent à son niveau maximal la valeur des protéines combinées. Ces proportions sont l'objet d'un débat permanent. Pour certains auteurs, une complémentation optimale est assurée par un rapport céréales-légumes secs de 2/1. Ainsi, un apport d'environ 67 % blé et 33% pois chiche permet d'obtenir une qualité protéique optimale (FAO, 1990). Cependant, pour d'autres auteurs, l'addition d'une proportion de 5 à 10 % de légumineuses aux céréales est satisfaisante (FAO, 1982).

Les produits de boulangerie sont les principaux produits céréaliers disponibles pour les consommateurs, de ce fait, le biscuit pourrait être utilisé comme modèle dans la formulation de produits innovants, pour satisfaire la demande croissante des consommateurs en produits alimentaires sains (Chung et Pomeranz, 1983). Différents travaux d'incorporation des lentilles dans la fabrication de nouveaux produits ont été rapportés ces dernières années (Tableau 07).

Tableau 07: Exemples de quelques produits à base de lentilles.

| Produit | Contenu | Effet | Références |
|-----------|---|--|-------------------------------|
| Pain | Pain mixte : fermentation de la farine de lentilles et de la levure | Activité élevée en phytase et en antioxydants. | Rizzello et al., 2014 |
| Cake | cake en ajoutant de la farine de lentilles | antihypertenseur naturel | Lu., 2014 |
| Pasta | pâtes précuites | La valeur nutritive des pâtes s'est améliorée. | Wójtowicz and Moscicki., 2014 |
| Noodles | nouilles extrudées | Excellente texture | Wang et al., 2014 |
| Spaghetti | enrichissement de Spaghetti | protéines améliorée | Bahnassey et al., 1986 |
| Flakes | Flocons de lentilles | riches en protéines, en fibres et en fer | Gun'kin and Suslyanok., 2014 |

Partie

Expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1. Objectif

Le but de ce travail est de substituer la farine de blé tendre par la farine de lentilles (naturelles et traitées) aux quatre pourcentages (25, 50, 75, 100%) dans la préparation des biscuits et d'évaluer l'effet de traitement technologique sur les propriétés physicochimiques et sur le niveau de quelques facteurs antinutritionnels présents dans les lentilles ainsi qu'une évaluation de l'activité antioxydante et de la qualité sensoriel de ces biscuits préparés.

2. Matériel et méthodes

2.1. Laboratoire d'analyses

Notre partie expérimentale a été effectuée au niveau des laboratoires ; d'Ecole Supérieure D'Agronomie (ESA), et laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition (TAN du site ex INES) de la faculté SNV de l'université de Mostaganem.

2.2. Collecte et préparation des échantillons

2.2.1. Matériel végétal

Les deux cultivars de lentilles étudiées (*Lens culinaris. Medik*) sont produites localement, provenant de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC). Elles ont été récoltées au stade de la maturité durant la période de septembre 2018, leurs variétés et leurs origines sont résumées dans le tableau 08.

Tableau 08 : informations spécifiques des variétés de lentilles étudiées

| Espèces | Cultivars | Régions |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <i>Lens culinaris. Medik</i> | C.D: Cultivar Dahra | Wilaya de Chlef: commune Dahra |
| | C.S.229: Cultivar Syrie. 229 | Wilaya de Tiaret |

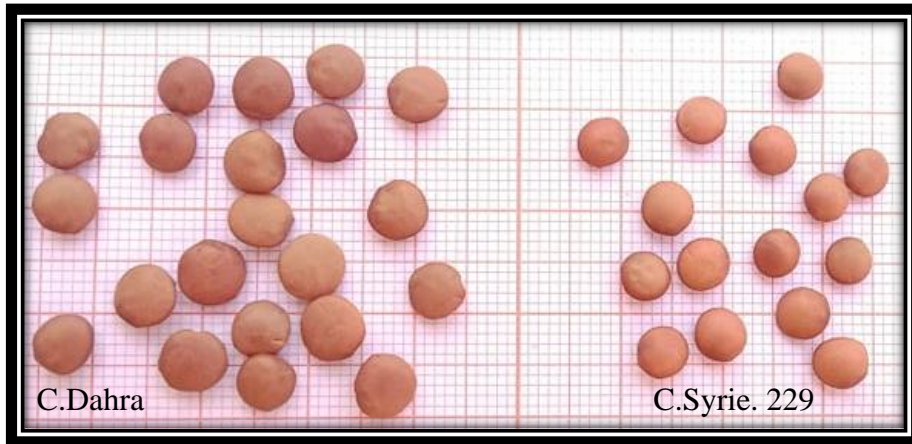


Figure 10 : Graines de lentilles des cultivars Dahra et Syrie.229

2.2.2. Traitement technologique des graines de lentilles

2.2.2.1. Torréfaction

En se basant sur des données de littérature (Attou et al, 2020), les graines de lentilles, préalablement débarrassées des matières étrangères et nettoyées sont torréfiées à 120° et à 140° C, pendant 15 et 30 min respectivement pour le C.D et le C.S.229 à l'aide d'un torréfacteur à tambour rotatif.

2.2.2.2. Préparation des farines de lentilles torréfiées

Les graines torréfiées sont refroidies à température ambiante (30°C), broyées en poudre fine (de 500 à 600µm), puis tamisées à fin d'obtenir des poudres dont la taille des particules est \leq à 300 µm.



Figure 11 : Farine de lentilles (FL) et Farine de blé (FB)

2.3. Etapes de préparation de biscuit

La substitution de la farine de blé par la poudre de lentilles était de l'ordre de 25%, 50%, 75%, et 100%. Le Tableau 09 nous renseigne sur les ingrédients utilisés pour la formulation et la préparation des différents biscuits. Le volume d'eau utilisé est variable d'un échantillon à un autre.

Tableau 09 : Formulations utilisées pour la préparation des biscuits de lentilles

| Ingrédients(g) | BT (biscuits témoins) | Poudre de lentilles crues /torréfiées par substitution de la farine de blé (g/100g) | | | |
|---------------------|-----------------------------|--|-----|-----|------|
| | | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Farine de blé | 100 | 75 | 50 | 25 | 0 |
| Farine de lentilles | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Graisse végétale | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Sel | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Levure chimique | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

Les ingrédients secs (mélanges de farines, sel, levure chimique, et graisse végétale) sont placés dans le pétrin (Aidkitchen), puis mélangés pendant 1 minute à 30°C, ensuite l'eau est ajoutée. La pâte est pétrie à la vitesse "2" pendant 3 min à 30°C à fin d'obtenir un mélange homogène non collant entre les doigts. La pâte formée est étalée et découpée à l'aide d'un moule circulaire de 4 cm de diamètre et 0,5 cm d'épaisseur. Les biscuits obtenus sont cuits dans des plateaux en aluminium à 200°C pendant 12 minutes. Les biscuits résultants ont été refroidis à température ambiante 30 ± 2 °C.

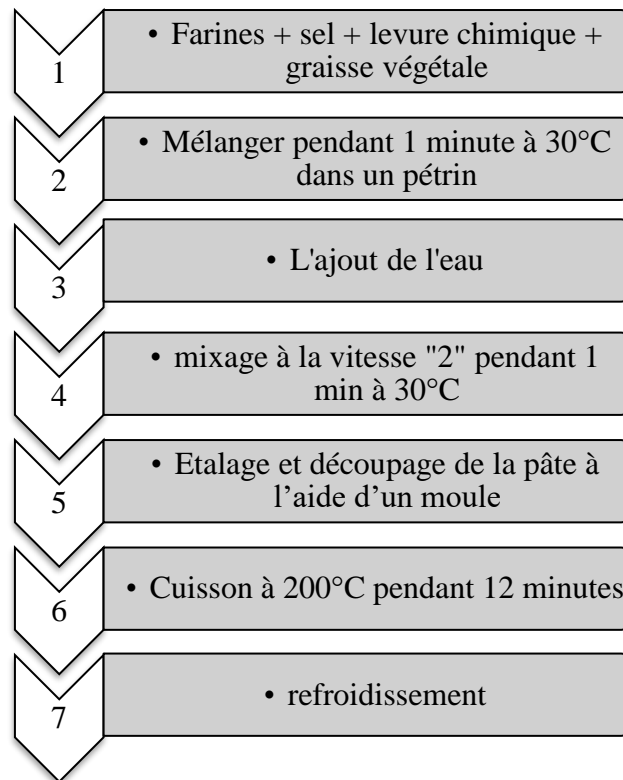


Figure 12 : Diagramme de fabrication des biscuits de lentilles



Figure 13: Les biscuits élaborés en différents pourcentages de lentilles

2.4. Analyse de la composition biochimique

Des analyses biochimiques ont été réalisées sur les farines (farine de blé et farine de lentilles) et sur les biscuits broyés.

2.4.1. Composition chimique globale

2.4.1.1. Détermination de la teneur en matière sèche et le taux d'humidité

La teneur en matière sèche des échantillons étudiés est déterminée selon la norme AFNOR NFV03-707-1989 (AFNOR, 1991), à l'aide d'une balance de précision 5g d'échantillons de biscuit de lentille sont pesés dans un creuset et placés dans l'étuve à circulation d'air (105°C) pendant 24 heures.

Après 5 heures on le laisse refroidir dans un dessiccateur, la matière sèche restante est alors pesée par différence avec la masse initiale, la quantité d'eau évaporée est ainsi déduite.

La teneur en matière sèche (MS) en gramme de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$MS \text{ (g)} = \text{Poids du creuset} - \text{poids du creuset vide}$$

La teneur totale en matière sèche, exprimée en pourcentage du poids de l'échantillon, est donnée par la formule suivante :

$$MS \text{ (\%)} = (MS(g) / \text{masse échantillon (g)}) \times 100$$

La teneur en eau de l'échantillon est calculée par l'expression suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = 100 - MS \text{ (\%)}$$

2.4.1.2. Détermination de la teneur en matière minérale (AFNOR NFV03-760-1981)

La teneur en matière minérale est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 5g de l'échantillon à 550°C. L'incinération est réalisée dans un four à moufle. La minéralisation est poursuivie pendant 4 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur grise claire ou blanchâtre. Après on le laisse refroidir dans un dessiccateur, puis, on pèse les creusets.

La teneur en cendre est exprimée par la formule suivante :

$$Cd \text{ \%} = ((M1 - M0) / P) * 100$$

Où :

Cd(%) : Teneur de cendre en pourcentage.

M1 : Poids du creuset +cendres.

M0 : Poids du creuset vide.

P : Masse de prise d'essai.

2.4.1.3. Détermination de la teneur en protéines (Lowry et al., 1951)

La détermination de la teneur en protéine a été assurée en appliquant la méthode colorimétrique de (Lowry ; 1951) basée sur l'addition successive à une solution protéique diluée d'un sel de cuivre en milieu alcalin puis du réactif de Folin-Ciocalteu pour donner des complexes d'une coloration bleue. Celle-ci résulte de la réaction du cuivre sur les liaisons peptidiques et la réduction de l'acide phospho-tungstomolybdique par la tyrosine, le tryptophane et la cystéine (Delobet., 1991). Ce sont les résidus tryptophane, tyrosine et phénylalanine qui sont impliqués dans cette réaction.

La coloration formée est proportionnelle à la quantité d'acides aminés aromatiques présents dans l'extrait protéique analysé.

Préparation de la solution de Lowry :

Solution A : 1g NAOH + 5g Na₂CO₃ dans 250 ml d'eau distillée

Solution B : 0.125g CuSO₄ + 0.25g Tartrate double Na⁺,K⁺ dans 25ml d'eau distillée

Solution Lowry :(50ml de solution A + 5ml de solution B) à mélanger au moment de la manipulation.

Mode opératoire :

Un volume de 1ml de chaque extrait a été ajouté à 5ml de la solution lowry, Après 10 minute le mélange est complété à 0,5 ml de réactif de folin-ciocalteu dilué avec un volume égal d'eau, après agitation au vortex, la coloration se développe en 30 min à 4°C.

À la longueur d'onde 600nm, le spectrophotomètre donne une valeur de densité optique qui permet de déterminer la concentration en protéines de l'échantillon, en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe 06) où l'albumine bovine commerciale (0.025%) est utilisée comme standard.

2.4.1.4. Détermination de la teneur en sucres

2.4.1.4.1. Teneurs en sucres solubles (Dubois et al., 1956)

La détermination de la teneur en sucres solubles a été assurée en appliquant la méthode de (Dubois et al.,1956) basée sur le dosage direct avec du phénol en présence de l'acide sulfurique

concentré. Une solution éthanolique à 80% a été utilisée pour l'extraction des sucres solubles des échantillons.

Mode opératoire :

Un millilitre de la solution phénolique à 5% a été additionné à des concentrations croissantes de la solution standard de glucose ou de l'extrait de l'échantillon, ensuite, 5ml d'acide sulfurique concentré ont été ajoutés, puis le mélange réactionnel est homogénéisé et refroidis.

La densité optique a été mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 490nm. L'expression des teneurs en sucres solubles a été obtenue à partir de l'équivalence du standard (glucose) en se référant à une courbe d'étalonnage (Annexe 01) puis exprimés en pourcentage par gramme de poudre d'échantillon.

2.4.1.4.2. Teneur en sucres réducteurs (Miller 1959)

Les sucres réducteurs ont été dosés par la méthode de Miller (1959). Les sucres réducteurs réagissent avec le DNS (acide di-nitrosalicylique) en le réduisant en acide 3-amino-5-nitrosalicylique, générant une coloration orangée qui est proportionnelle à la teneur en sucres réducteurs.

Mode opératoire :

1ml de réactif au DNS est ajouté à 1ml d'échantillon à doser (1%). Le mélange est porté à ébullition pendant 5min et refroidi rapidement. Après addition de 10ml d'eau distillée, le contenu des tubes est homogénéisé au vortex, et la densité optique est lue à 540nm.

La courbe d'étalonnage (solution de glucose de 0 à 1g/l)(Annexe 01) est utilisée pour la détermination de la teneur en sucres réducteurs. Les résultats ont été exprimés en pourcentage par gramme de poudre d'échantillon.

2.4.1.5. Détermination de la teneur en matières grasses (Folch et al., 1957)

Cette méthode permet de séparer les lipides libres ou liés aux protéines d'une part, et ceux des complexes insolubles d'autre part. Elle fait appel à un mélange binaire composé d'un bon solvant des lipides (chloroforme) et d'un solvant plus polaire qui permet de rompre les liaisons lipides-protéines (méthanol). L'extraction est réalisée à froid, elle se déroule en différentes étapes et requiert plus d'interventions.

Mode opératoire :

On broie pendant 2 minutes 10 gramme d'échantillon dans un mortier avec 60ml de réactif de folch, ce dernier est formé de 60 ml de chloroforme + 40 ml de méthanol. Le mélange est filtré

sous vide sur un verre fritté à l'aide d'une pompe, le filtrat est ensuite transféré dans une ampoule à décanter avec ajout de 1/4V de chlorure de sodium (NaCl) en solution à 0,73%.

On agite bien le mélange (NaCl+filtrat) en éliminant le gaz et on laisse décanter pendant 2 heures pour que les deux phases se séparent. La phase inférieure (organique) est récupérée et sécher par du sulfate de sodium anhydre filtrer sur filtre sans graisse, dans un ballon préalablement pesé, ensuite on effectue un second lavage à la phase supérieure aqueuse du mélange en ajoutant 40 ml de réactif de folch et 1/4V du NaCl 0.58%. On agite bien le mélange en éliminant ainsi le gaz et on laisse décanter pendant 1 heure.

La 2eme phase inférieure est récupérée et sécher par du sulfate de sodium anhydre filtrer sur filtre sans graisse. Enfin on passe l'extrait lipidique à un évaporateur rotatif à 50°C, afin d'éliminer partiellement le solvant et avoir un extrait concentré en matière grasse.

La teneur en matière grasse totale de l'échantillon a été calculée comme suit :

$$\text{Matière grasse \%} = (M2 - M0) / M1 \times 100$$

Où :

M0 : Masse en gramme du ballon vide.

M1 : Masse en gramme de la prise d'essai.

M2 : Masse en gramme de ballon après extraction et séchage.



Figure 14 : La décanation de la solution



Figure 15 : Les ballons contenant l'extrait lipidique

2.4.2. Analyses phytochimiques

2.4.2.1. Préparation de l'extrait végétal

L'extrait de graines de lentilles a été préparé selon la méthode de Fratianni et al., (2014) avec quelques modifications. Les échantillons broyés (50 g) ont été homogénéisés avec de l'eau (1: 1. W / v), après 2 h d'incubation, 4 volumes d'acétone ont été ajoutés et le mélange a été incubé pendant 24 h à 4°C puis centrifugé à 3000 tour/minutes pendant 5 min, les surnageants ont été récupérés et conservés à 4° C. Les culots ont été traités à nouveau avec un volume d'acétone et incubés pendant 1 h à 4°C. Les deux surnageants ont été rassemblés et filtrés sous vide à l'aide d'un verre fritté a porosité 4. Après une évaporation complète du solvant, chaque extrait d'échantillon a été lyophilisé et stocké à 0°C dans l'obscurité jusqu'à ce que les analyses soient effectuées.

2.4.2.2. Détermination de la teneur en polyphénols

Les teneurs en phénols totaux des extraits ont été déterminées suivant la méthode spectrophotométrique de Miliauskas et al. (2004) en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMO₁₂O₄₀), ça réduction produit une coloration bleu proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait analysé (Boizot et Charpentier ;(2006), Amari ; (2010).

Mode opératoire :

5ml de Folin-Ciocalteu (2M) dilué 10 fois sont mélangés avec 1ml (0,1%) d'extrait méthanolique ou d'étalon (solutions d'acide gallique allant de 0 à 6mg/l). Après 5 minutes d'incubation, 4ml de carbonate de sodium (7,5%) ont été additionnés. L'absorbance a été lue à l'aide d'un spectrophotomètre de type JENWAY 6517 à 765nm après une heure d'incubation à l'obscurité et à température ambiante contre un blanc (1ml de méthanol à la place de l'extrait). L'expression des résultats a été obtenue à partir de l'équivalence du standard (acide gallique) (Annexe 02) par gramme de lyophilisat (mg EAG/g).

2.4.2.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

Le contenu en flavonoïdes totaux a été estimé selon la technique décrite par Chang et al., (2002). Le groupement hydroxyle (OH) libre en position 5 des flavonoïdes forme un complexe jaunâtre par chélation des métaux (Fer et Aluminium). La coloration formée est proportionnelle au taux de flavonoïdes dans l'échantillon (Ribereau-Gayon, 1982).

Mode opératoire :

Pour ce faire, un volume de 0,75ml d' $AlCl_3$ (2%) a été mélangé à un volume égal d'extrait méthanolique. Les densités optiques ont été lues à 430nm contre un blanc (1ml de l'extrait + 1ml de méthanol) après 10 minutes d'incubation. Les expressions des résultats ont été obtenues à partir de l'équivalence du standard (quercétine) (Annexe 03) par gramme de lyophilisat (mg EQ/g).

2.4.3. Analyses des facteurs antinutritionnels

2.4.3.1. Détermination de la teneur en tanins condensés

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode de vanilline décrite par (Julkunen-Titto, 1985). Cette méthode dépend de la réaction de la vanilline avec le groupement flavonoïde terminal des tannins condensée et la formation de complexe rouge, qui est due à la transformation des tanins en anthocyanidols par réaction avec la vanilline.

Mode opératoire :

Un volume de 400 μ l de chaque extrait a été ajouté à 3ml de la solution vanilline méthanolique à 4 %, puis mélangé au vortex. Ensuite, un volume de 1.5ml de l'acide chlorhydrique concentré (HCl) a été additionné. Le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité pendant 15 min. L'absorbance est mesurée à 550nm contre un blanc. Les résultats sont exprimés en mg équivalent catéchine/g de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage du catéchine (Annexe 04).

2.4.3.2. Détermination de la teneur en acide phytique

La teneur en acide phytique est déterminée selon la méthode décrite par Latta et Eskin (1980), puis modifiée par Vaintraub et Lapteva (1988). Brièvement, L'extraction des phytates a été effectuée en ajoutant à 5 g d'échantillon, 100 ml d'HCl à 2,4% suivie d'une agitation (1h) et d'une centrifugation (3000rpm/30 min) à température ambiante. Le surnageant a été utilisé pour l'estimation des phytates.

Le dosage est réalisé en ajoutant à 3 ml du surnageant, 1 ml du réactif Wade ($\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ à 0,03% contenant l'acide sulfosalicylique à 0,3%) et le mélange est centrifugé, la coloration rose induite par la réaction des ions ferriques avec l'acide sulfosalicylique diminue. L'absorbance de l'échantillon ou du standard est lue à 500 nm. L'acide phytique (0-40 $\mu\text{g/ml}$) est utilisé comme standard, et les résultats sont exprimés en mg eq. AP/g d'échantillon en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide phytique (Annexe 05).

2.4.4. Evaluation de l'activité antioxydante des farines

L'activité anti-radicalaire des composés phénoliques contenus dans les farines de lentilles a été évaluée en mesurant leurs capacités de piéger le radical libre DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl). Sa couleur violette foncée se transforme en jaune lors de sa réduction (capté par les produits testés) (Zeghad, 2009).



Figure 16 : Réaction des composés phénoliques avec le radical DPPH.

Brièvement, 50 μl de chacun des extraits méthanoliques à différentes concentrations ont été mélangés avec 5ml d'une solution méthanolique de DPPH (0,004%), l'absorbance a été lue à 517nm après 30 minutes d'incubation à l'obscurité et à température ambiante. Parallèlement, des solutions méthanoliques d'acide ascorbique avec les mêmes concentrations ont été utilisées

comme control positif. La capacité antioxydante des extraits a été exprimée en IC50 qui représente la concentration minimale en extrait de lentilles nécessaire pour piéger 50% de la solution du DPPH et qui a été ensuite calculée à partir du graphique de pourcentage d'inhibition tracé (Annexe 07, 08 et 09). La formule suivante à permet de calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH :

$$\% \text{Inhibition} = [(A \text{ blanc} - A \text{ échantillon}) / A \text{ blanc}] \times 100$$

Où :

A blanc : Absorbance du blanc (absorbance de la solution en absence de molécules testées).

A échantillon : Absorbance de la solution en présence de molécules testées.

2.5. Analyse sensorielle des biscuits de lentilles

Pour réaliser l'analyse sensorielle nous avons effectué un test de notation. Ce test est réalisé sur les différents biscuits préparés pour l'évaluation d'un ensemble de propriétés organoleptiques (AFNOR NF V09- 014, 1982), (goût, arrière-goût, flaveur, texture, couleur, odeur, croustillance et pouvoir apéritif). La salle de dégustation était bien équipée avec un bon éclairage, une bonne circulation d'air et exempt de toute odeur étrange. Le panel des dégustateurs est constitué de 12 personnes, de sexes masculins et féminins. Les dégustateurs ont été informés préalablement de la manière de remplir les fiches de notation pour qu'ils puissent participer aux essais sur la même base.

2.5.1. Déroulement de l'analyse sensorielle

Les panélistes ont été invités à se rincer soigneusement la bouche avec de l'eau potable et à goûter les biscuits un par un. Entre chaque test d'échantillons, on leur a demandé de boire / se rincer la bouche avec une gorgée d'eau. Les 17 échantillons distincts (biscuit témoin et biscuits de lentilles) sont présentés dans des assiettes en plastique pour chaque dégustateur et codés pour ne pas influencer les réponses des sujets. Chaque membre du jury doit attribuer une note de 1 (extrêmement mauvais) à 9 (extrêmement bon) pour tous les caractères organoleptiques indiqués dans la fiche de dégustation en fonction de leur appréciation. La fiche d'évaluation sensorielle est présentée en annexe n° 10.

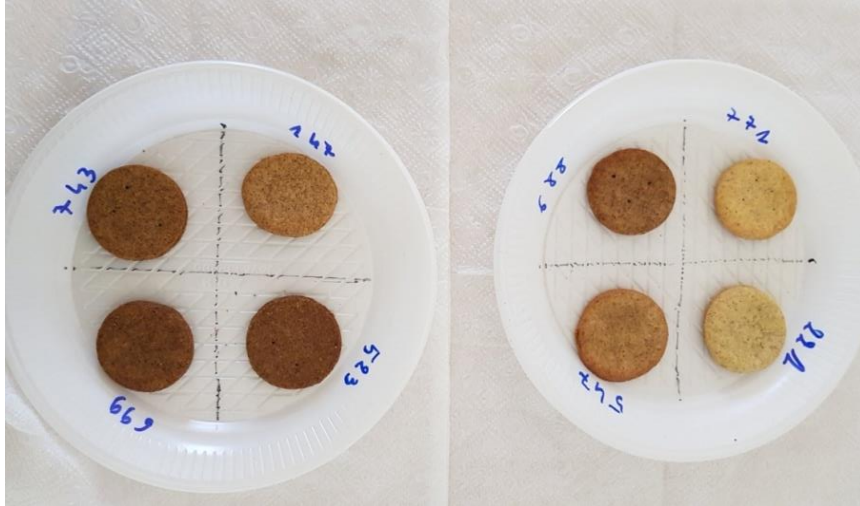


Figure 17 : biscuit témoin et biscuits de lentilles

2.6. Analyse statistique

Les données ont été examinées par l'analyse de la variance (ANOVA multi-factorielle : traitement, cultivar et taux d'incorporation de la FL). Les résultats sont présentés en moyennes \pm écarts types avec nombre de répétition $n=4$. Le test de Student-Neuman-Keuls est utilisé pour comparer ces moyennes, l'ANOVA montre une signification à $P \leq 0,05$.

Chapitre II. Résultats et discussion

1. Composition biochimique des farines étudiées

La teneur en composés biochimiques de la farine de blé et des farines de lentilles utilisées (Cultivar Dahra et Cultivar Syrie. 229) est représentée dans le tableau 10.

Tableau 10 : Composition biochimique de la farine de blé et des farines de lentilles utilisées

| Paramètres | Farine de blé | Farine de lentilles(C.D) | Farine de lentilles(C.S.229) |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Humidité (%) | 12,71±0,051 ^a | 10,97±0,055 ^c | 11,47±0,078 ^b |
| Matière sèche (%) | 87,29±0,051 ^c | 89,03±0,055 ^a | 88,53±0,078 ^b |
| Cendres (%) | 2,80±0,479 ^b | 2,91±0,134 ^a | 2,21±0,102 ^c |
| Protéines (%) | 11,28 ±064 ^a | 30,62±094 ^b | 31,02±5,57 ^a |
| Matière grasse (%) | 0,46±0,14 ^c | 0,88±0,17 ^b | 0,95±0,17 ^a |
| Sucres solubles (%) | 2,29±0,14 ^a | 5,48±0,14 ^a | 5,69±0,13 ^b |
| Sucres réducteurs (%) | 0,005±0,002 ^b | 0,09±0,014 ^a | 0,016±0,004 ^b |
| Polyphénols TPC (mg GAE/g) | 0,61±0,17 ^c | 59,12±0,1 ^a | 49,65±0,16 ^b |
| Flavonoïdes TFC (mg QE/g) | 0,031±0,004 ^b | 3,72±0,1 ^a | 3,45±0,06 ^a |
| Phytates (mg/g) | 3,64±0,695 ^c | 6,84±0,26 ^a | 5,89±0,2 ^b |
| Tanins (mg CE/g) | 0,35±0,087 ^c | 9,3±0,38 ^a | 7,45±0,26 ^b |

1.1. Composition chimique globale

La teneur en eau observée dans la farine de blé est de l'ordre de 12,71%, alors que la farine de lentille enregistre une teneur un peu plus faible de l'ordre de 10,97% et 11,47% respectivement pour les variétés DAHRA et S.229.

La teneur en eau de la farine de blé est un peu supérieure à celle rapportée par A.Menasra en

(2019)(9,48%). Par contre, le taux d'humidité obtenu pour les farines de lentilles est inférieur à celui présenté par C.Chaouche., (2018) (9,96%). La teneur en eau des farines est un paramètre important qui doit se situer entre 10 et 16% (généralement 13 à 15%) pour que la farine se conserve convenablement, au-delà, il y a risque d'altération (Chene ,2001).

La teneur en cendres dans la farine de blé est de 2,80%, tandis que pour les variétés DAHRA et S.229 est de l'ordre de 2,91% et 2,21% respectivement.

Nos résultats sont légèrement inférieurs à celles trouvée par T.H. Hefnawy (2011) pour la farine de lentilles (3,4%). Opong et *al.* (2015) ont mentionné que la farine de blé contient une teneur en cendres égale 1%. Parsaei et *al.* (2018) ont trouvé que la farine de blé avait 0,28% des cendres.

Comparée à la farine de blé, la teneur en protéines de la farine de lentilles est supérieure d'environ 20% (tableau 09). La teneur moyenne en protéines des variétés Dahra et S.229 était de 31.7%, cette teneur est supérieure à celle de la farine de blé qui était de 11.28%.

Nos résultats au niveau de la farine de lentille semblent être plus élevés que ceux obtenues par Zhou et *al.* (2013) et par T.H. Hefnawy(2011), soit 25,8% et 26,6% respectivement. Tandis que la valeur trouvée pour la farine de blé est proche de celle trouvée par Parsaei et *al.*,(2018)(11,13%). Cette différence est probablement liée à plusieurs paramètres tels que la région, la variété, le système d'irrigation, et à la période de récolte.

Les farines étudiées présentent des teneurs faibles en lipides, la farine de blé renferme 0.46%, celle des lentilles est de l'ordre de 0,88 et 0.95% pour les variétés Dahra et S.229 respectivement.

Ryan et *al.*, (2007) ont constaté que les graines de lentilles contenaient un gras total d'environ 1,4 g/100 g. Tandis que T.H. Hefnawy, (2011) a trouvé que les lentilles ont un taux lipidique de 1%. Boubker Nasser et *al.*, (2015), ont analysé le taux des lipides dans d'autres variétés de blé tendre, ils ont trouvé des teneurs en lipides élevées par rapport à celle que nous avons obtenue, elles varient entre 1,8 et 2,8%. Ces derniers rapportent aussi qu'il y a une différence significative entre les variétés sur le taux des lipides.

Par comparaison à la farine de lentilles (5,48% et 5,69% : Dahra et S.229 respectivement), la farine de blé présente une faible teneur en sucres solubles (2,29%). Tandis que la teneur en sucres réducteurs observée chez la farine de blé (0,005%) est très faible par rapport à celle observée chez les farines de lentilles qui était de 0,09% pour Dahra et 0,016% pour SYRIA 229.

1.2. Teneur en composés phytochimiques

Par comparaison à la farine de blé (0,61mg EAG/g), la richesse des graines de lentilles en polyphénols est plus remarquable. La variété Dahra semble être plus riche en polyphénols (59,12 mg EAG/g) que la variété S.229 (49,65 EAG/g). Ces résultats indiquent un contenu appréciable des composés phénoliques pour les deux cultivars avec une teneur moyenne de 52,88 mg EAG/g. Les composés phénoliques naturels exercent leurs effets bénéfiques sur la santé principalement par leur activité antioxydante (Zhang et coll., 2015).

Les farines de lentilles Dahra et SYRIA 229 montrent un taux de flavonoïdes plus supérieur (3,72 mg EQ/g et 3,45 respectivement) à celui de la farine de blé (0,031mg EQ/g). Xu et al., (2007) ont trouvé dans les extraits de lentille une teneur variant entre 3,04 et 4,54 mg CAE/g.

Les résultats obtenus montrent que les farines de lentilles Dahra et S. 229 sont plus riches en tanins que la farine de blé avec des concentrations de 9,3mg EC/g ; 7,45mg EC/g et 0,35mg EC/g respectivement. Xu et al., (2007) ont trouvé que les lentilles renferment des quantités de tanins condensés allant de 3,73 à 10,20 mg EC/g. Les tanins peuvent être éliminés par décorticage, trempage, traitement thermique ou cuisson (Singh, 1988).

La teneur en acide phytique de la farine de blé est égale à 3,64mg EAp/g de MS. Cette valeur est comparable à celle de Kumar et Sinha, (2018) qui est environ de 3,9mgEAp/g de MS. Chez les farines de lentilles, on observe une teneur supérieure en acide phytique à raison de 6,84mgEAp/g de MS et 5,89mg EAp/g de MS respectivement pour les variétés Dahra et S.229.

2. Evaluation du pouvoir antioxydant des farines

L'activité antioxydante des farines étudiées a été évaluée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH, dans le but de déterminer la concentration de l'antioxydant permettant d'inhiber la moitié du radical. Cette méthode s'accompagne par le passage du radical DPPH de la couleur violette à la couleur jaune (Prakash et al., 2007).

Tableau 11 : CI50 des farines déterminé par la méthode de DPPH

| Farine | CI50 (mg/ml) |
|---------------|---------------------|
| FB | 151,71±0.02 |
| D.C cru | 4,2±0.03 |
| S.229.C cru | 4,91±0.01 |

Les résultats de l'activité antioxydante des extraits de farine de lentilles crues selon le test DPPH (tableau 10) sont exprimés en CI50 (mg/ml) (tableau 11). D'après l'analyse de la variance, les deux variétés affectent significativement ($p < 0,05$) l'activité antioxydante des échantillons. Les données montrent que les cultivars de lentilles présentent une activité antioxydante intéressante, avec des valeurs de CI50 de l'ordre de 4.2 à 4,91 mg/ml, indiquant que les lentilles servent d'aliment antioxydant. Par ailleurs, cette activité antioxydante est nettement faible chez la farine de blé, où la valeur de CI50 est de l'ordre de 151,71mg/ml. Au regard du contenu en composés bioactifs, la richesse en polyphénols, en flavonoïdes, et en tanins fourni une meilleure capacité antioxydante aux farines de lentilles.

3. Caractérisation des biscuits

3.1. Composition biochimique des biscuits

La Composition biochimique du biscuit témoin et des différents biscuits à base de lentilles sont représentées par les figures ci-dessous :

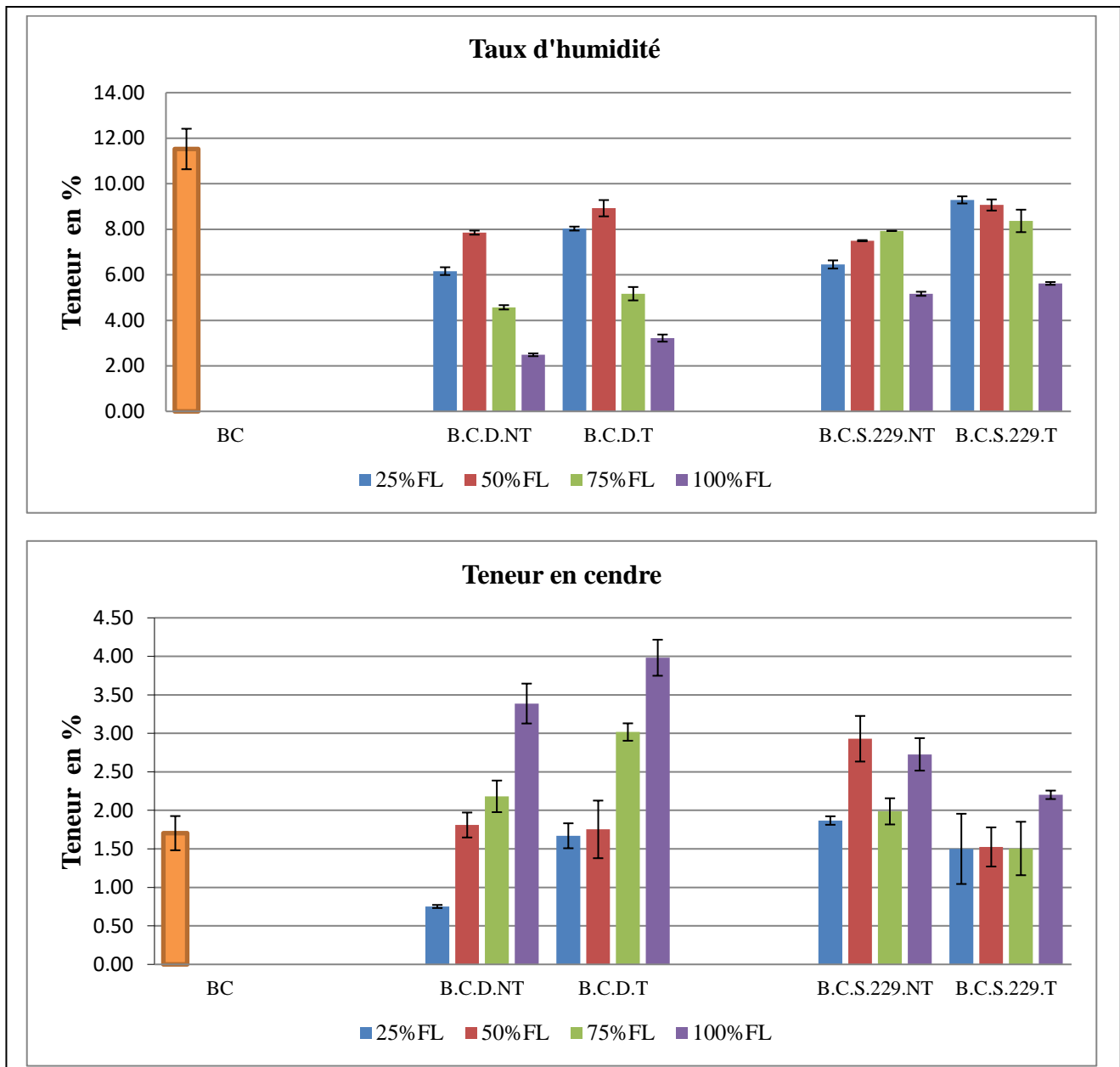


Figure 18 : Teneur en cendre et taux d'humidité

Le biscuit de blé possède une teneur en humidité (11,53%) supérieure à celle des biscuits de lentilles (de 2,49 à 9,29%) (Figure 18). L'analyse des résultats montrent que l'ajout de la farine de lentilles réduit le taux d'humidité des biscuits. Similairement, Hegazy et al., (2014) ont trouvé que le biscuit à base de la farine de blé contient une teneur élevée en humidité (7,17%) par rapport aux biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre de châtaigne (5,60%-6,39%). D'autre part, nous notons des taux d'humidité supérieurs chez les biscuits de lentilles torréfiés (3,22-9,29%) par comparaison aux biscuits de lentilles non torréfiés (2,49-6,46%). Hyun-Jung et al., (2014) ont signalé que la teneur en humidité a été augmentée dans les biscuits préparés par la farine de riz germé. Le traitement thermique des graines de lentilles

(torréfaction) et la forte capacité de rétention d'eau chez les farines de lentilles, justifient probablement l'augmentation de l'humidité chez les biscuits de lentilles torréfiées. Teshome et al., (2017) affirment que l'humidité est un paramètre affectant la durée de conservation des biscuits, et la croissance des contaminants microbiens.

Le biscuit témoin contient une teneur réduite des cendres (1,70%) en comparaison aux biscuits de lentilles (Figure 16). La teneur en cendres des biscuits augmente significativement ($p < 0.05$) par l'incorporation de la farine de lentilles (0,75-3,98%). Hegazy et al., (2014) ont trouvé une augmentation dans la teneur en cendres des biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre de châtaigne en comparaison au biscuit à base de blé. Serrem, (2010) aussi rapporte une augmentation de la teneur en cendres de biscuit enrichi en farine de soja.

Ces résultats montrent que l'addition de la farine de lentilles aux produits céréaliers améliore leurs valeurs nutritionnelles. Cette différence est certainement liée à la teneur initiale en cendre des farines (de blé et de lentilles) utilisées. La teneur en cendres n'est pas trop affectée par le traitement de torréfaction. Teshome et al. (2017) ont rapporté que les cendres contrairement aux vitamines et aux acides aminés, ne peuvent pas être détruits par une exposition prolongée à la chaleur.

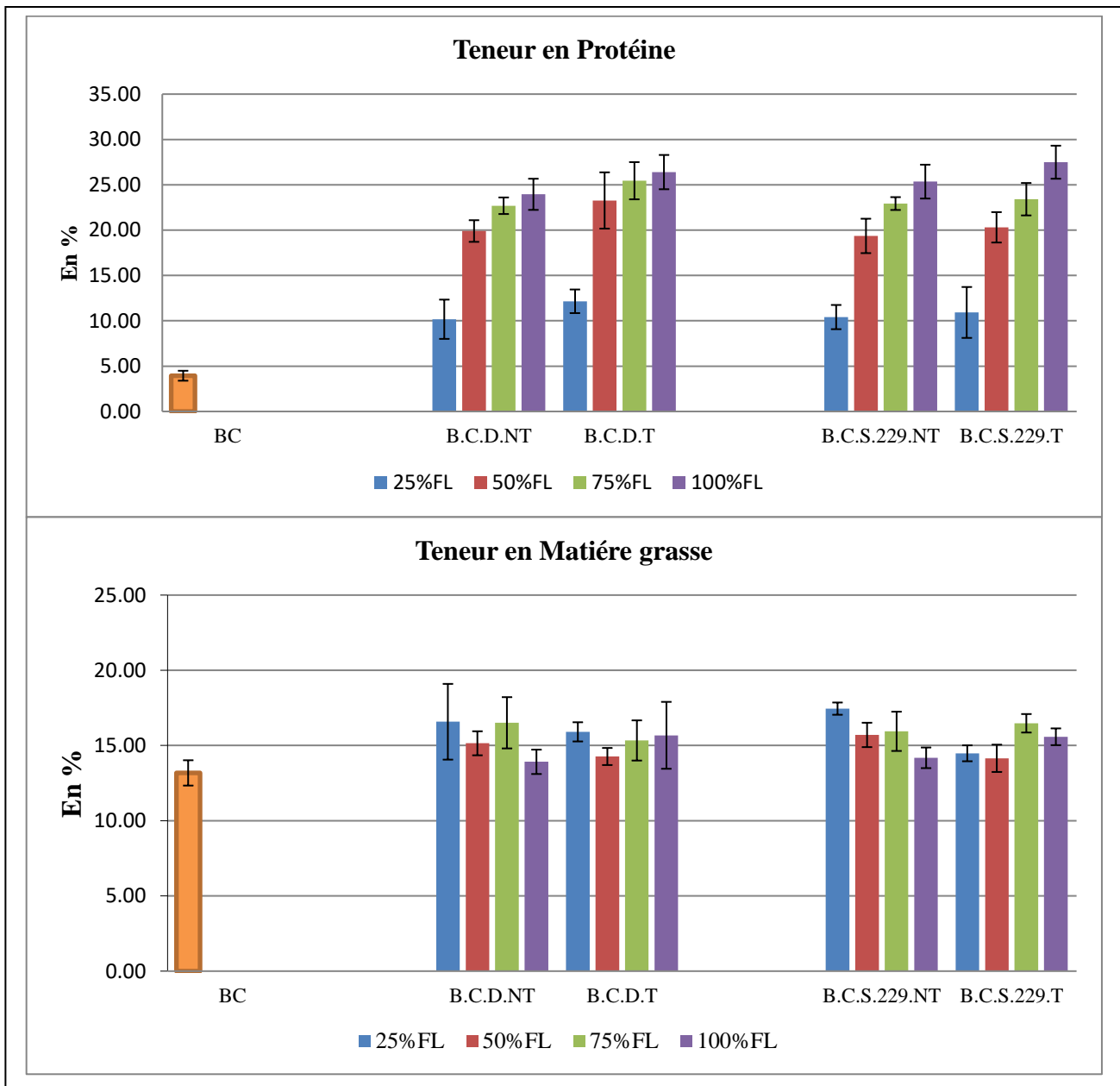


Figure 19 : Teneur en protéine et en matière grasse

La complémentation farine de blé-farine de lentilles améliore le contenu protéique pour tous les échantillons de biscuits, en raison de la teneur élevée en protéine dans la farine de lentilles (Figure 19). Le biscuit témoin à base de blé renferme une teneur de 3,94% qui est inférieure à celle des biscuits de lentilles qui varie de 10,17% à 25,35% chez les biscuits de lentilles torréfiés de la variété Dahra. Akubor., (2003) a signalé une augmentation de la teneur en protéines des biscuits lorsque le mélange de farine de niébé et de plantain a été ajouté à la formulation. Cette augmentation induite par l'incorporation des pourcentages élevés en farine de lentilles, atteindra les 27,49% chez le biscuit à 100% de FL torréfiées (S.229).

Les biscuits à base de lentilles torréfiées renferment plus de protéines que les biscuits à base de lentilles non torréfiées pour les deux variétés étudiées, soit une augmentation de 2 à 19%. Cela peut être expliqué par la perte des substances solubles autres que les protéines durant la cuisson, ce qui pourrait augmenter leur concentration dans l'échantillon.

Le biscuit de blé présente une faible teneur en matière grasse qui est de 13,18% par rapport à celle des biscuits de lentilles (de 13,92 à 17,45%) (Figure 19). Ces teneurs sont relativement liés à l'ajout de la farine de lentille qui contient plus de matière grasse que la farine de blé, et à l'incorporation de la matière grasse végétale (margarine) comme ingrédient lors de la fabrication des biscuits. Cette forte teneur en matières grasses confère aux biscuits un fort potentiel calorifique et contribue à l'amélioration de sa qualité nutritionnelle (SAADOUDI, 2019). Une légère diminution du taux de matière grasse est enregistrée dans les biscuits de farine torréfiée, cela peut être justifié par la dégradation des acides gras au cours des procédés thermiques (torréfaction et cuisson).

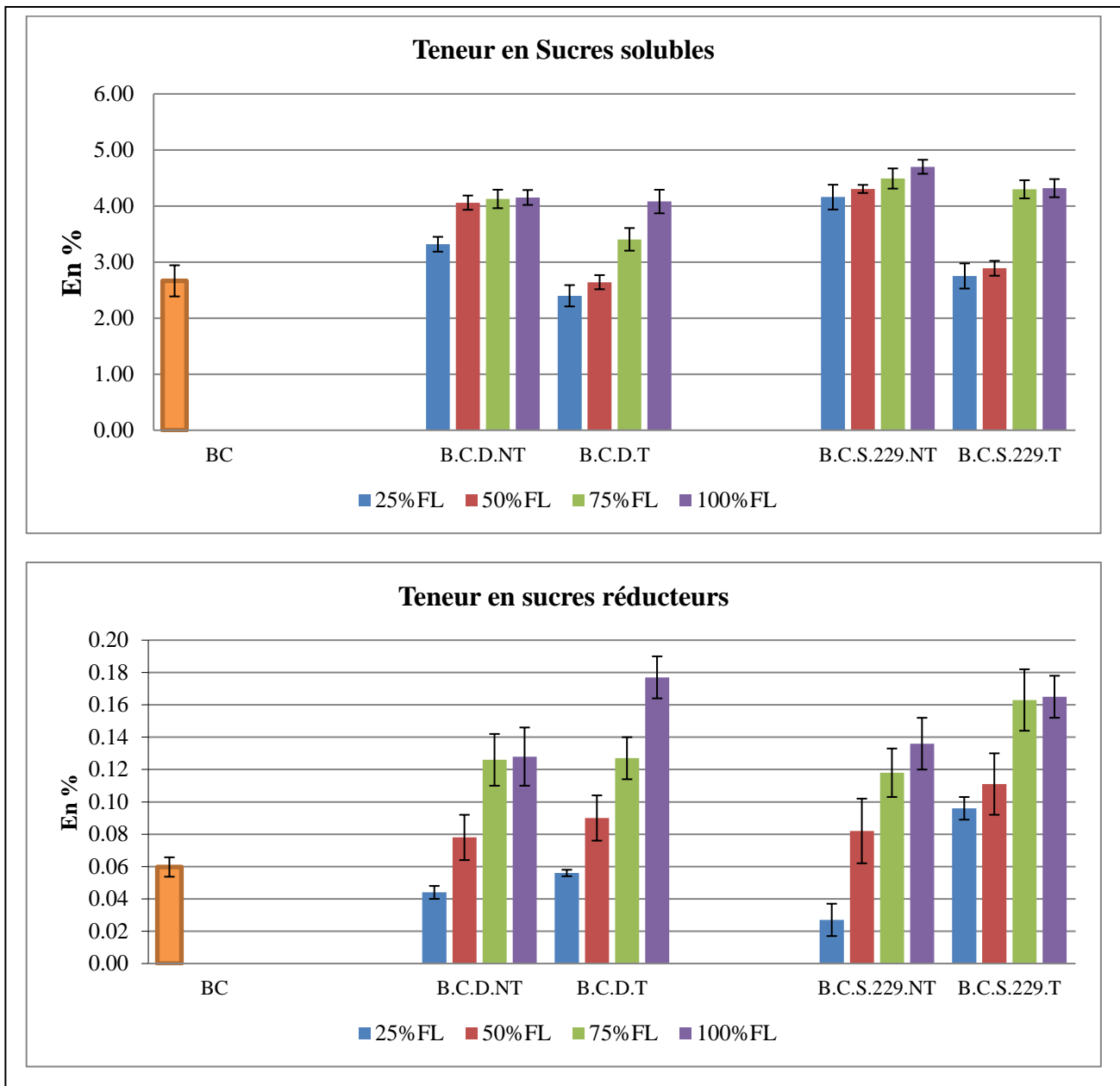


Figure 20 : Teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs

L'analyse des données (Figure 20) montre une augmentation de la teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs avec l'ajout de la farine de lentilles, les teneurs en sucres solubles varient de 2.40 à 4.70% pour les biscuits de lentilles, celles du biscuit de blé affiche une teneur de 2.67%. Cette différence est certainement due à l'incorporation des pourcentages élevés de la farine de lentilles qui contient plus de sucres solubles que la farine de blé. Tandis que les teneurs en sucres réducteurs varient de 0.03 à 0.18% pour les biscuits de lentilles, celles du biscuit de blé affiche une teneur de 0.06%. Le contenu en sucres solubles diminue, mais celui des sucres réducteurs augmente chez les biscuits de lentilles torréfiées.

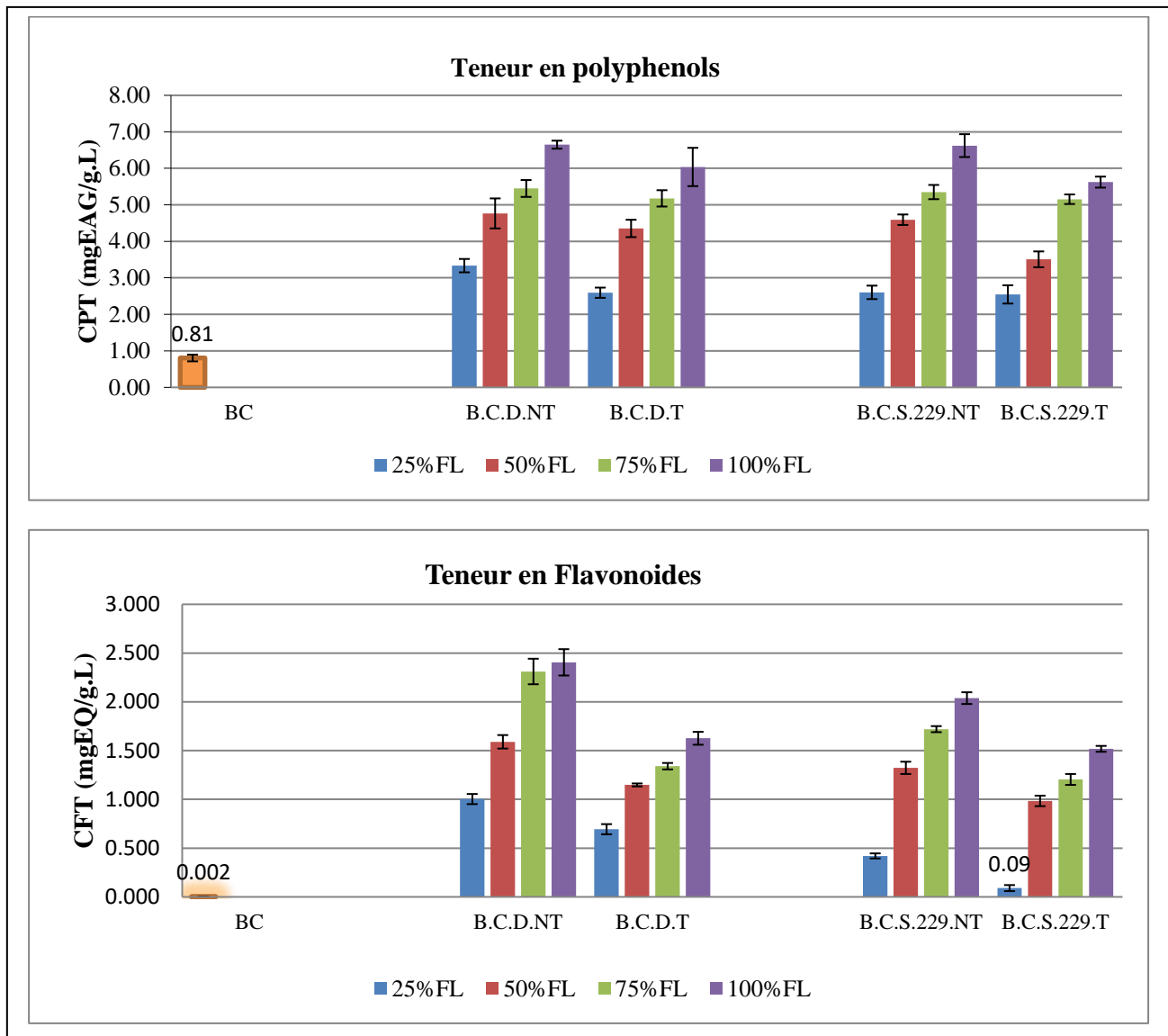


Figure 21 : Teneur en polyphénols et en flavonoïdes

Le biscuit à base de lentilles présentait des hautes teneurs de polyphénols (2,55 à 6,65mg EAG/g) et de flavonoïdes (0,09 à 2,41mg EQ/g) par rapport au biscuit témoin (figure 21). Hegazy *et al.*, (2014) ont mentionné que le contenu phénolique de biscuit à base de blé est égale 490 µg/g. Cet effet est un résultat évident de la substitution de la farine de blé par la farine de lentilles riche en polyphénols et en flavonoïdes. A. Menasra (2019) a constaté une augmentation de la teneur en polyphénols des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne. Aussi, Hegazy *et al.* (2014) ont trouvé une augmentation dans la teneur en polyphénols des biscuits enrichis en 10%, 20% et 30% de la poudre de châtaigne. D'autre part, le traitement des lentilles par torréfaction diminue les composés phénoliques des biscuits.

L'augmentation en contenu phytochimiques pourrait être attribuée à la farine de lentilles qui est

riche en molécules bioactives que la farine de blé. En effet, en se référant à la littérature, les lentilles ne sont pas seulement une excellente source de macronutriments tels que les protéines, les acides gras, les fibres, mais contiennent également des phytochimiques, qui peuvent être classés en acides phénoliques, flavanols, et tanins condensés (Yanping *et al.*, 2012).

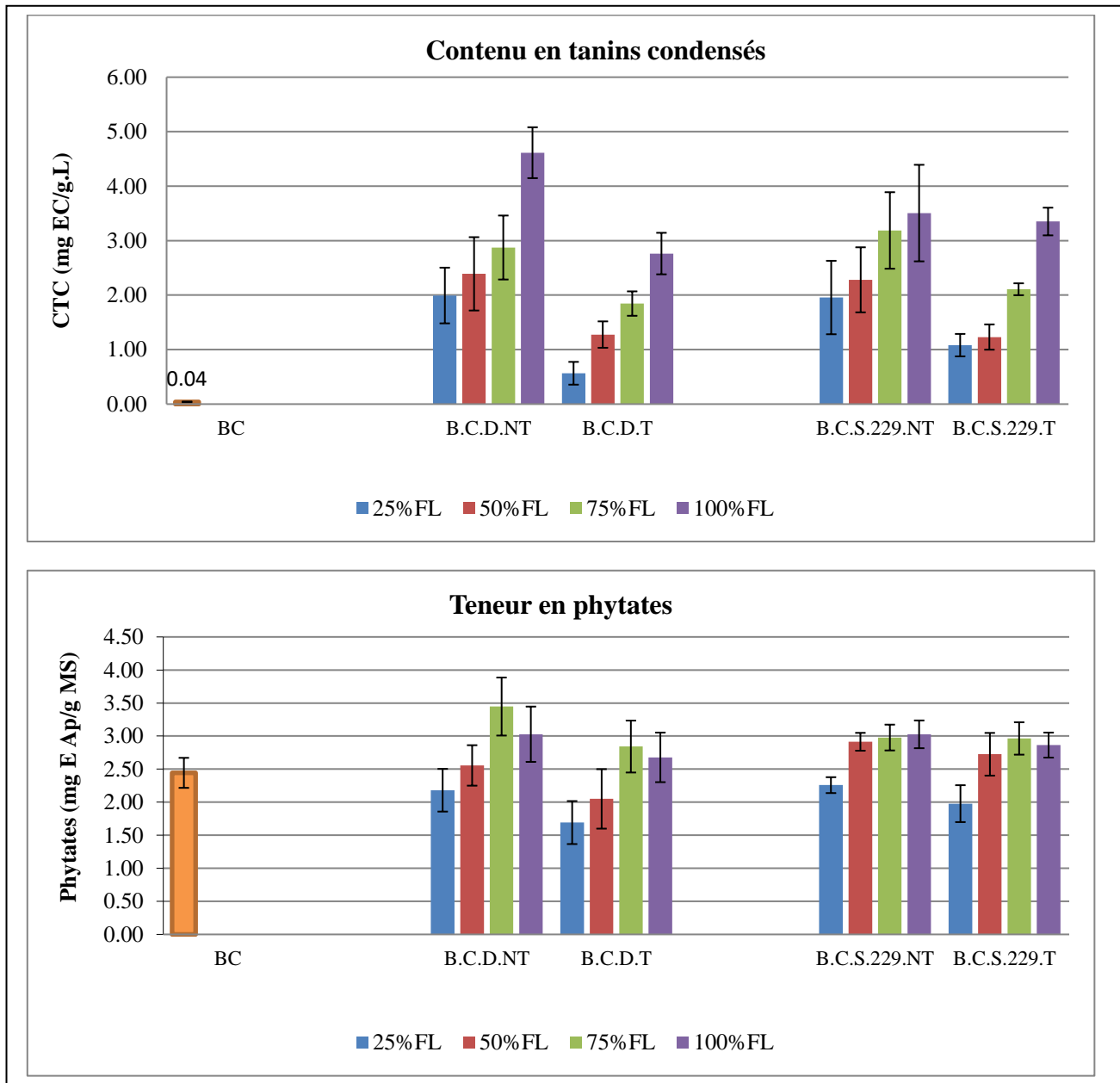


Figure 22 : Teneur en phytates et en tanins condensés

L'incorporation de la farine de lentilles augmente le taux des phytates et des tanins condensés dans les biscuits, l'augmentation est globalement proportionnelle au taux d'incorporation de la farine de lentille. Il ressort d'après la figure 22 que la teneur en tanins des biscuits de lentilles (0,57 à 4,61mg EC/g.L) est nettement plus élevée par rapport à celle de biscuit de blé (0,04mg

EC/g.L). Les phytates affichaient des teneurs de 1,69 à 3,45mg EAp/g MS chez les biscuits de lentilles tandis que chez le biscuit de blé est de 2,44mgEAp /g MS.

Comparée à leurs teneurs chez les biscuits de lentilles crues, les phytates et les tanins sont réduits chez les biscuits de lentilles torrifiées, les taux de réduction sont différents selon l'échantillon (tableau 12 et 13).

Cela indique que le traitement de la torrification a fait diminuer la teneur en phytates et en tanins, et que l'utilisation de la farine torrifiée induit une amélioration de la qualité nutritionnelle, par la réduction des niveaux des FAN dans les biscuits.

Tableau 12 : Effet de traitement de torrification sur les tanins condensés des biscuits à base de lentilles

| Teneur en mg EC/g.L) | B.C.Dahra | | | | B.C.S.229 | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 25% | 50% | 75% | 100% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Biscuit de lentilles non torrifié | 1,99 ±0,51 | 2,39 ±0,67 | 2,87 ±0,59 | 4,61 ±0,47 | 1,96 ±0,67 | 2,28 ±0,60 | 3,19 ±0,70 | 3,51 ±0,89 |
| Biscuit de lentilles torrifié | 0,57 ±0,21 | 1,28 ±0,24 | 1,85 ±0,22 | 2,76 ±0,38 | 1,08 ±0,21 | 1,23 ±0,23 | 2,11 ±0,11 | 3,35 ±0,25 |
| Taux de réduction % | 71% | 46% | 36% | 40% | 45% | 46% | 34% | 5% |

Tableau 13 : Effet de traitement de torrification sur les phytates des biscuits à base de lentilles

| Teneur en mg EAp/g MS) | B.C.Dahra | | | | B.C.S.229 | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 25% | 50% | 75% | 100% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Biscuit de lentilles non torrifié | 2,18 ±0,62 | 2,56 ±0,31 | 3,45 ±0,44 | 3,03 ±0,42 | 2,26 ±0,12 | 2,91 ±0,14 | 2,98 ±0,20 | 3,03 ±0,41 |
| Biscuit de lentilles torrifié | 1,69 ±0,63 | 2,05 ±0,45 | 2,84 ±0,69 | 2,68 ±0,78 | 1,98 ±0,28 | 2,73 ±0,32 | 2,96 ±0,25 | 2,86 ±0,19 |
| Réduction en % | 22% | 20% | 18% | 12% | 12% | 7% | 0,7% | 6% |

3.2. Evaluation du pouvoir antioxydant des biscuits

Les résultats de la capacité antioxydante évaluée par le test DPPH (Figure 23) sont exprimés en CI50 (mg/ml). D'après l'analyse de la variance, les pourcentages d'incorporation pour les deux cultivars renforcent ($p < 0,01$) l'activité antioxydante des biscuits de lentilles (DPPH : 6 à 24 fois plus élevée que celle du biscuit de blé). Cependant, ce pouvoir antioxydant est dépréciée ($p > 0,05$) après utilisation de la farine de lentille torréfié pour le B.C.D.T et le B.C.S.229 T.

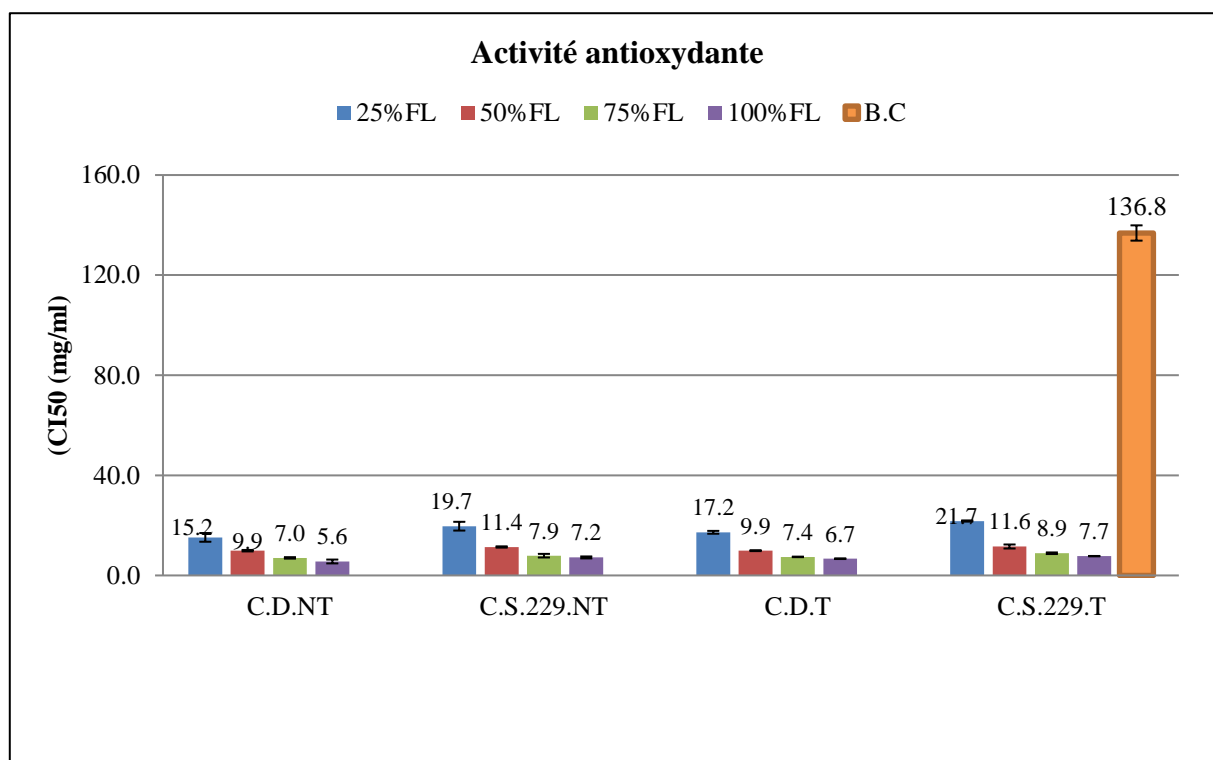


Figure 23 : Activité antioxydante des biscuits évaluée par le test DPPH

L'enrichissement des produits additionnés de légumineuses par les composés phénoliques et les flavonoïdes, a été affirmé par de nombreux auteurs, Turfani (2016) et Porte (2019). Cependant, la réduction de l'activité antioxydante notée chez les biscuits de lentilles torréfiés est induite par thermolyse des molécules bioactives (polyphénols, flavonoïdes et tanins) responsables de la neutralisation des radicaux DPPH.

3.3. Analyse sensorielle

Les résultats du test d'appréciation sensorielle sont représentés par la figure 24 pour les biscuits des deux variétés et le biscuit témoin.

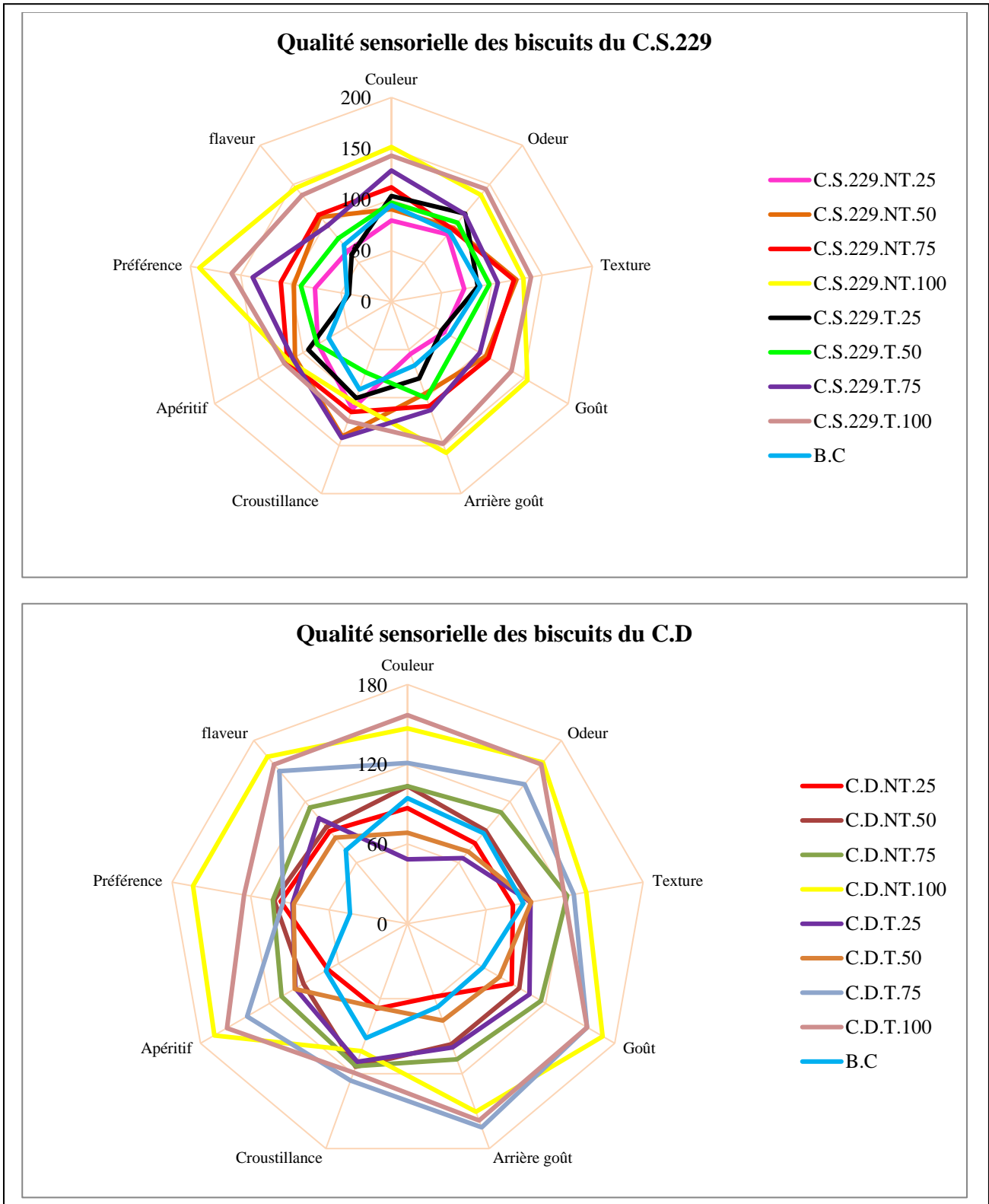


Figure 24 : Qualité sensorielle des différents biscuits

Selon le test sensoriel, le B.C.S229.T à 25% de farine de lentilles possède le meilleur goût et flaveur, suivie du B.C.D.T à 25% de farine de lentilles puis du biscuit de blé. Notre panel de dégustation trouve que les biscuits à 100% de farine de lentilles possèdent le caractère le moins apéritif, leurs goûts, odeurs, textures, couleurs et flaveurs sont jugés indésirables. L'incorporation de fortes doses et l'accroissement de taux d'addition de la farine de lentilles réduit l'acceptabilité globale des biscuits (figure 24). De même, Hegazy et al., (2014) ont rapporté des résultats similaires pour les biscuits enrichis en poudre de châtaigne.

L'appréciation des échantillons à base de farine de lentille torréfiée, revient à l'amélioration de leurs qualités organoleptiques grâce au processus de torréfaction. De nombreux auteurs font appel au procédé de torréfaction, pour améliorer la qualité sensorielle des produits à base de noix, de graines ou de légumes secs. En effet, l'objectif principal de la torréfaction est d'améliorer la saveur, la couleur, la texture et la croustillance des produits (Schmitzer, et al 2010). Les biscuits à 100% de farine de lentille présentent une qualité sensorielle non acceptable, cela indique que l'ajout de grands pourcentages de farine de lentilles, avait probablement gâché la qualité organoleptique par l'intensification des caractères sensoriels du biscuit. On estime que les composés phénoliques (tannins) sont responsables de certaines caractéristiques sensorielles et qu'ils pourraient être impliqués dans la sensation d'amertume.

Conclusion

L'effet de la substitution partielle (25,50 et 75%) et complète (100%) de la farine de blé par la farine de lentilles (cruées ou torrifiées) sur la composition chimique, les FAN, les composés bioactifs, l'activité antioxydante et la qualité sensorielle du biscuit a été étudié. Quel que soit le taux de substitution, la composition chimique globale des biscuits est nettement améliorée par l'utilisation de la farine de lentilles ; les protéines et les minéraux atteints des niveaux intéressants de l'ordre de (27 et 3.9%).

Parallèlement, le contenu en composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes respectivement) s'est amélioré d'environ 2 à 6 mg EAG/g et 0.1 à 2.4 mg EQ/g avec l'ajout de la farine de lentilles, l'augmentation est d'autant plus marquante que le taux d'incorporation de la farine de lentilles est élevé dans le biscuit. Ce contenu bioactif acquis (légèrement déprécié par la torrification chez les biscuits de lentilles torrifiées), confère aux biscuits de lentilles une capacité antioxydante accentuée, indiquant qu'elles servent d'aliment antioxydant.

Par opposition à la farine de lentilles crue, l'incorporation de la farine de lentilles torrifiées réduit les FAN (phytates et tannins condensés) des biscuits, la réduction de ces facteurs connus pour leur effet inhibiteur de protéase et privant l'absorption des minéraux, améliore la digestibilité des protéines et la biodisponibilité des minéraux, fournis par la farine de lentilles.

Bien que l'évaluation sensorielle montre une appréciation générale des biscuits de lentilles torrifiées à 25 et 50%, le contenu nutritionnel adapté, procure aux biscuits à 100% de farine de lentilles un large attrait chez les personnes cœliaques. En effet, les biscuits aux lentilles constituent une source à la fois dépourvue de gluten, et précieuse de protéines et de minéraux, cela les incite à la consommation et varie leurs sources d'alimentation.

Notre étude met en évidence la possibilité d'utiliser la farine de lentilles torrifiées ou crues comme alternative de la farine de blé, cette dernière peut être substituée partiellement ou complètement de FL, en vue d'améliorer la qualité nutritionnelle et sensorielle du biscuit.

Les différents résultats obtenus sont encourageants et prometteurs pour une exploitation industrielle. Ainsi la production de biscuits enrichis ou sans gluten au bénéfice des consommateurs peut devenir une réalité. Nos essais méritent d'être poursuivis et approfondis :

- Évaluation *in vivo* approfondie de la qualité nutritionnelle des biscuits obtenus, teneurs en acides aminés, en minéraux, digestibilité des protéines, profil en composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes)...etc.

- Évaluation d'autres traitements (germination, cuisson, décortilage.....etc.) pour leur effet sur les graines de lentilles ou sur d'autres types de légumineuses.
- Formulation et Production d'autres produits à base de légumes secs.

Références Bibliographiques

ADEBAMOWO, Clement A., CHO, Eunyoung, SAMPSON, Laura, *et al.* Dietary flavonols and flavonol-rich foods intake and the risk of breast cancer. *International Journal of Cancer*, 2005, vol. 114, no 4, p. 628-633.

AMAROWICZ, Ryszard, TROSZYŃSKA, AGNIESZKA, BARYŁKO-PIKIELNA, N. I. N. A., *et al.* Polyphenolics extracts from legume seeds: correlations between total antioxidant activity, total phenolics content, tannins content and astringency. *Journal of Food Lipids*, 2004, vol. 11, no 4, p. 278-286.

ANDERSON, James W. et MAJOR, Amy W. Pulses and lipaemia, short-and long-term effect: potential in the prevention of cardiovascular disease. *British Journal of Nutrition*, 2002, vol. 88, no S3, p. 263-271.

Bahnassey Y, Khan K, Harrold R. Fortification of spaghetti with edible legumes. I. Pysicochemical, antinutritional, amino acid, and mineral composition. *Cereal Chem.* 63: 210-215 (1986).

BOYE, Joyce Irene, ROUFIK, Samira, PESTA, Noemie, *et al.* Angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties and SDS-PAGE of red lentil protein hydrolysates. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, vol. 43, no 6, p. 987-991.

BUCKHOLZ JR, L. L., DAUN, H., STIER, E., *et al.* Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts. *Journal of food science*, 1980, vol. 45, no 3, p. 547-554.

CARROLL, Kenneth K. Diet and carcinogenesis: Influence of diet on mammary cancer. *Nutrition and cancer*, 1981, vol. 2, no 4, p. 232-236.

DE MEJÍA, Elvira González et PRISECARU, Valentin I. Lectins as bioactive plant proteins: a potential in cancer treatment. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2005, vol. 45, no 6, p. 425-445.

DENIS, Amélie. Les biscuits et gâteaux: toute une diversité. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 2011, vol. 46, no 2, p. 86-94.

ĎURAČKOVÁ, Zdeňka. Some current insights into oxidative stress. *Physiologicalresearch*, 2010, vol. 59, no 4.

El-Adawy, T. A. Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicerarietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2002, vol. 57, no 1, p. 83-97

EL-ADAWY, T. A., RAHMA, E. H., EL-BEDAWEY, A. A., *et al.* Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2003, vol. 58, no 3, p. 1-13.

FAO Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine. FAO. Alimentation et nutrition, 1982 .20.Rome, p. 152

FAO Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition, 1990 . 47/1. Rome, p. 120 .

FAO Utilisation des aliments tropicaux : Légumineuses tropicales. FAO. Alimentation et Nutrition, 1990 .47/4. Rome, p. 76

Finney, P., Beguin, D., and Hubbard, J. (1982).;Effects of germination on bread-baking properties of mung bean (*Phaseolusaureus*) and garbanzo bean (*Cicerarietinum*). *Cereal Chem*, 1982, Vol. 59,no 6,p 520-524.

FLIGHT, Ingrid et CLIFTON, Peter. Cereal grains and legumes in the prevention of coronary heart disease and stroke: a review of the literature. *European journal of clinical nutrition*, 2006, vol. 60, no 10, p. 1145-1159.

FUSTIER, P.J. . Influence des fractions de mouture de blé tendre (farine patente, De coupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Option Sciences en Technologies des Aliments, Département des Sciences des aliments et de Nutrition, Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec, 2006, p. 54 .

Gallagher E., . Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products, 2008.

Guillamon E, Pedrosa MM, Burbano C, Cuadrado C, Sanchez MC, Muzquiz M The trypsin, 2008.

Gun'kin VA, Suslyanok GM. Lentil grain flakes production method. Russia patent RU, 2014.

HAN, In Hwaet BAIK, Byung-Kee. Oligosaccharide content and composition of legumes and their reduction by soaking, cooking, ultrasound, and high hydrostatic pressure. *Cerealchemistry*, 2006, vol. 83, no 4, p. 428-433.

HERNÁNDEZ SALAZAR, Marcelo, OSORIODIAZ, Perla, LOARCAPIÑA, Guadalupe, *et al.* In vitro fermentability and antioxidant capacity of the indigestible fraction of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris* L.), lentils (*Lens culinaris* L.) and chickpeas (*Cicerarietinum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, vol. 90, no 9, p. 1417-1422.

HIGGINS, Janine A. Whole grains, legumes, and the subsequent meal effect: implications for blood glucose control and the role of fermentation. *Journal of nutrition and metabolism*, 2012, vol. 2012.

KHATTAK, AmalBadshah, ZEB, Aurang, et BIBI, Nizakat. Impact of germination time and type of illumination on carotenoidcontent, protein solubility and in vitro protein digestibility of chickpea (*Cicerarietinum* L.) sprouts. *Food chemistry*, 2008, vol. 109, no 4, p. 797-801.

Kigerj. L., Kigerj. G. Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Dunod.. Paris,1967, vol. 1, p 696.

- LAFOND, Jean et PAGEAU, Denis. Effets nutritionnels et non nutritionnels associés à la présence de légumineuses sur les rendements en grains d'orge et les nitrates du sol. *Canadian Journal of Soil Science*, 2007, vol. 87, no 4, p. 445-454.
- Lassoued-Oualdi, N..Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de doctorat en Sciences Alimentaires. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires « ENSIA ». AgroParisTech , 2005. p 163.
- Lu JY. Health preservation rice cake for auxiliary antihypertension and its production methods. China Patent, 2014.
- MAACHE-REZZOUG, Zoulikha, BOUVIER, Jean-Marie, ALLAF, Karim, *et al.* Study of mixing in connection with the rheological properties of biscuit dough and dimensional characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 1998, vol. 35, no 1, p. 43-56.
- MOSS, J. R. et OTTEN, L. A relationship between colour development and moisture content during roasting of peanuts. *Canadian Institute of food science and technology journal*, 1989, vol. 22, no 1, p. 34-39.
- N.ZOUAOUI Effet des polyphénols sur la résistance à l'infestation fongique dans le grain de blé dur. 2007
- Ndanguï, C.B. Production et caractérisation de farine de patate douce (Ipomoeabatatas.Lam) : optimisation de la technologie de panification. Thèse de doctorat en Co-tutelle en Procédés et Biotechnologiques Alimentaires. Université de Lorraine et Université Marien Ngouabi. 2015,p 134.
- PADOVANI, Renata M., LIMA, Dag M., COLUGNATI, Fernando AB, *et al.* Comparison of proximate, mineral and vitamin composition of common Brazilian and US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, vol. 20, no 8, p. 733-738.
- PATTEE, Harold E., GIESBRECHT, Francis G., et ISLEIB, Thomas G. Roasted peanut flavor intensity variations among US genotypes. *Peanut Science*, 1995, vol. 22, no 2, p. 158-162.
- RAO, P. Udayasekharaet DEOSTHALE, Yeshwant G. Tannin content of pulses: varietal differences and effects of germination and cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1982, vol. 33, no 10, p. 1013-1016.
- Rehman, Z., Salariya, A.M., and Samreen, S. "Physico-chemical characteristics of commonly consumed legumes after domestic processing". *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 2004. Vol. 47,p 66–68.
- RIZZELLO, Carlo Giuseppe, CALASSO, Maria, CAMPANELLA, Daniela, *et al.* Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International journal of foodmicrobiology*, 2014, vol. 180, p. 78-87.

- RYAN, E., GALVIN, Karen, O'CONNOR, Tom P., *et al.* Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2007, vol. 62, no 3, p. 85-91.
- Saxena, A. Chadha, M. and Sharma, S. Nutrients and antinutrients in chickpea (*Cicerarietinum* L.) cultivars after soaking and pressure cooking. *Journal of food science and technology*, 2003, vol. 40, no 5, p. 493-497.
- SCARAFONI, Alessio, MAGNI, Chiara, et DURANTI, Marcello. Molecular nutraceuticals as a mean to investigate the positive effects of legume seed proteins on human health. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, vol. 18, no 9, p. 454-463.
- SHIMODA, Mitsuya, NAKADA, Yuji, NAKASHIMA, Masatosi, *et al.* Quantitative comparison of volatile flavor compounds in deep-roasted and light-roasted sesame seed oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, vol. 45, no 8, p. 3193-3196.
- RAMDATH, D. Dan, WOLEVER, Thomas, SLOW, Yaw Chris, *et al.* Effect of processing on postprandial glycemic response and consumer acceptability of lentil-containing food items. *Foods*, 2018, vol. 7, no 5, p. 76.
- SINGH, U. Antinutritional factors of chickpea and pigeonpea and their removal by processing. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1988, vol. 38, no 3, p. 251-261.
- Tharanathan, R., & Mahadevamma, S. Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, vol. 14, no 12, p. 507–518.
- Tuan, Y.-H., and Phillips, R. D. Effect of the hard-to-cook defect and processing on protein and starch digestibility of cowpeas. *Cereal chemistry*, 1991.
- Uebersax, M., and Occena, L. (2003). "Legumes: Legumes in Diet." *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2003, p. 3520-3534
- WANG, Ning, WARKENTIN, Tom D., VANDENBERG, Bert, *et al.* Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion. *Food Research International*, 2014, vol. 55, p. 119-127.
- WÓJTOWICZ, Agnieszka et MOŚCICKI, Leszek. Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, vol. 59, no 2, p. 1175-1185.
- XU, Baojun et CHANG, Sam KC. Comparative study on antiproliferation properties and cellular antioxidant activities of commonly consumed food legumes against nine human cancer cell lines. *Food chemistry*, 2012, vol. 134, no 3, p. 1287-1296.
- XU, Baojun J. et CHANG, S. K. C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science*, 2007, vol. 72, no 2, p. S159-S166.

ANNEXES

Annexe 01 :

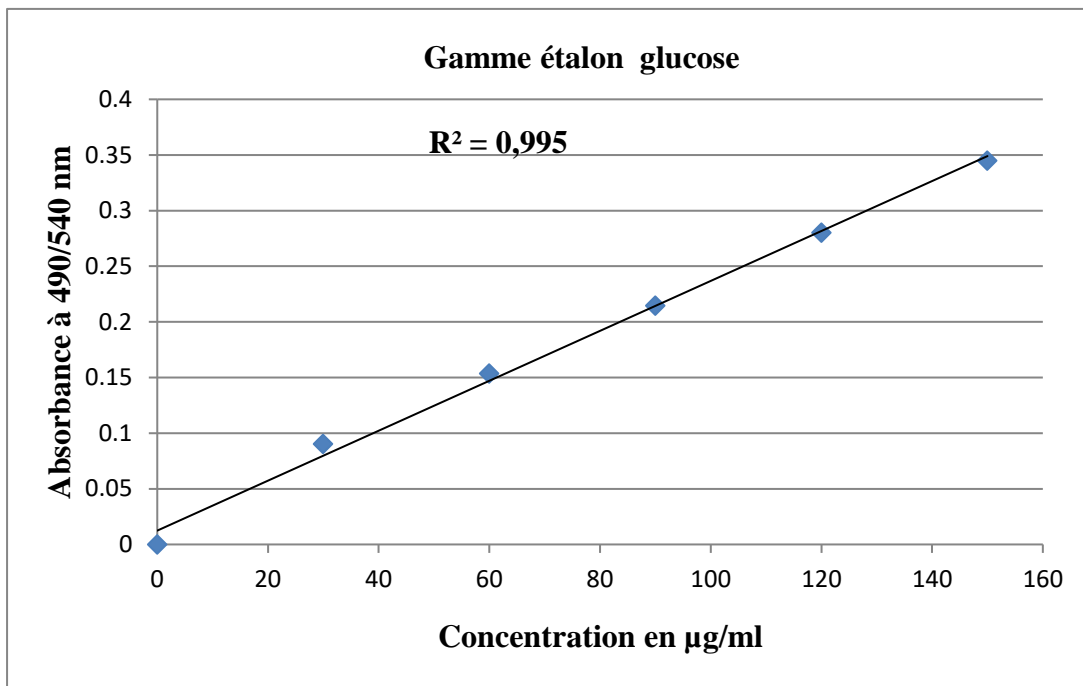


Figure 25 : courbe d'étalonnage des sucres

Annexe 02 :

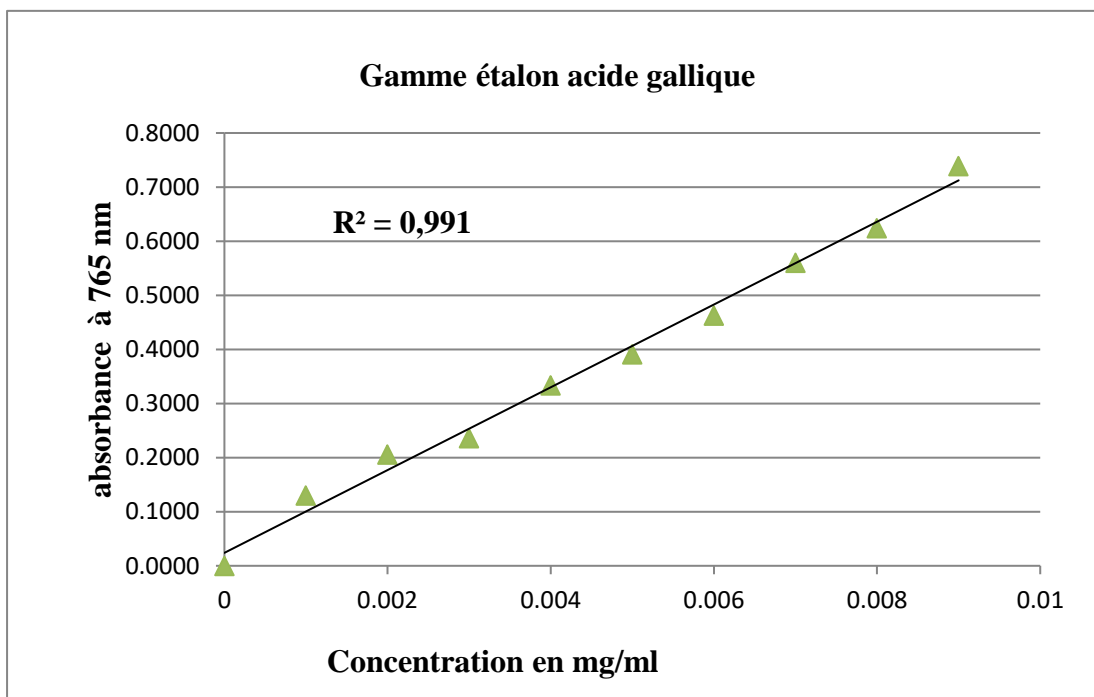


Figure 26 : Courbe d'étalonnage des polyphénols

Annexe 03 :

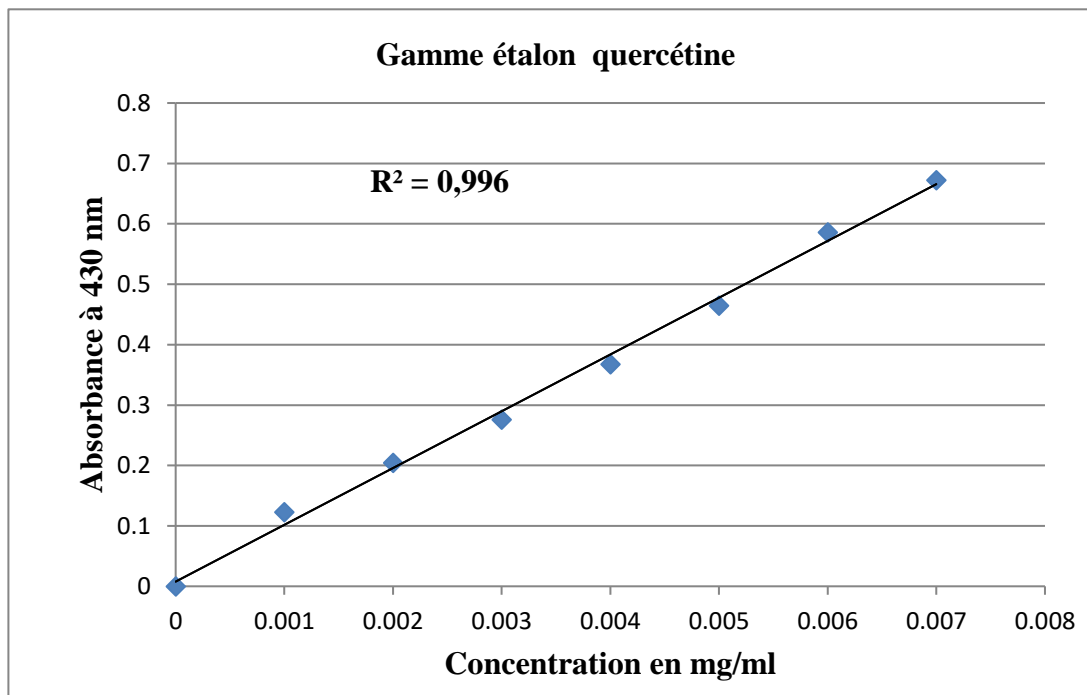


Figure 27 : courbe d'étalonnage des flavonoïdes

Annexe 04 :

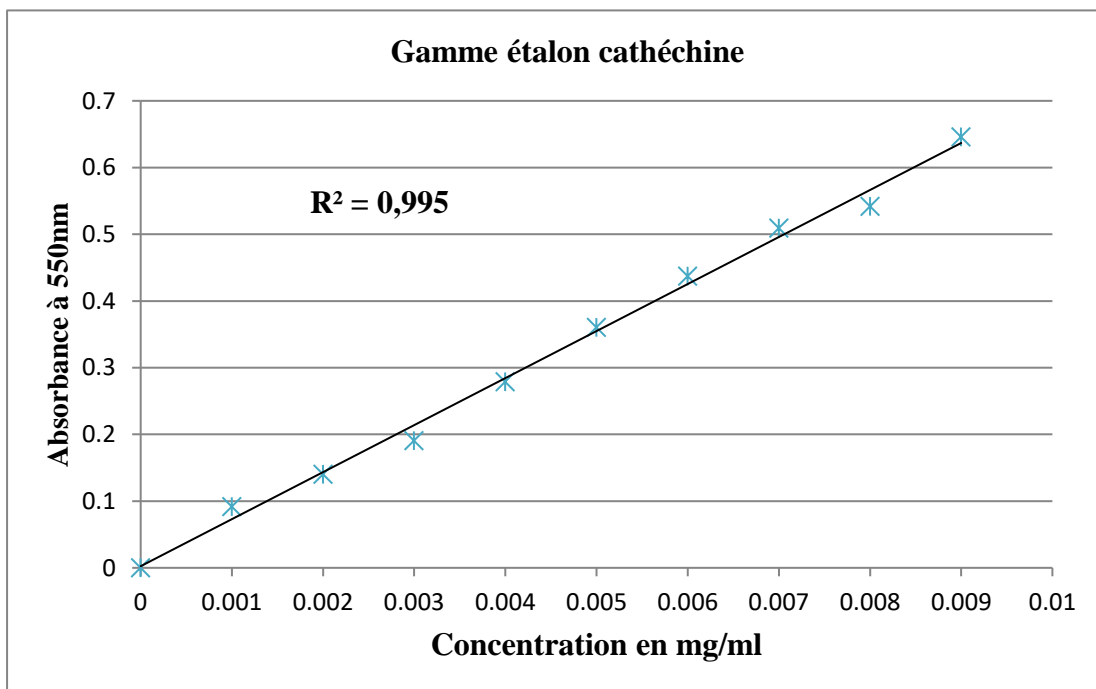


Figure 28 : courbe d'étalonnage des tanins condensés

Annexe 05 :

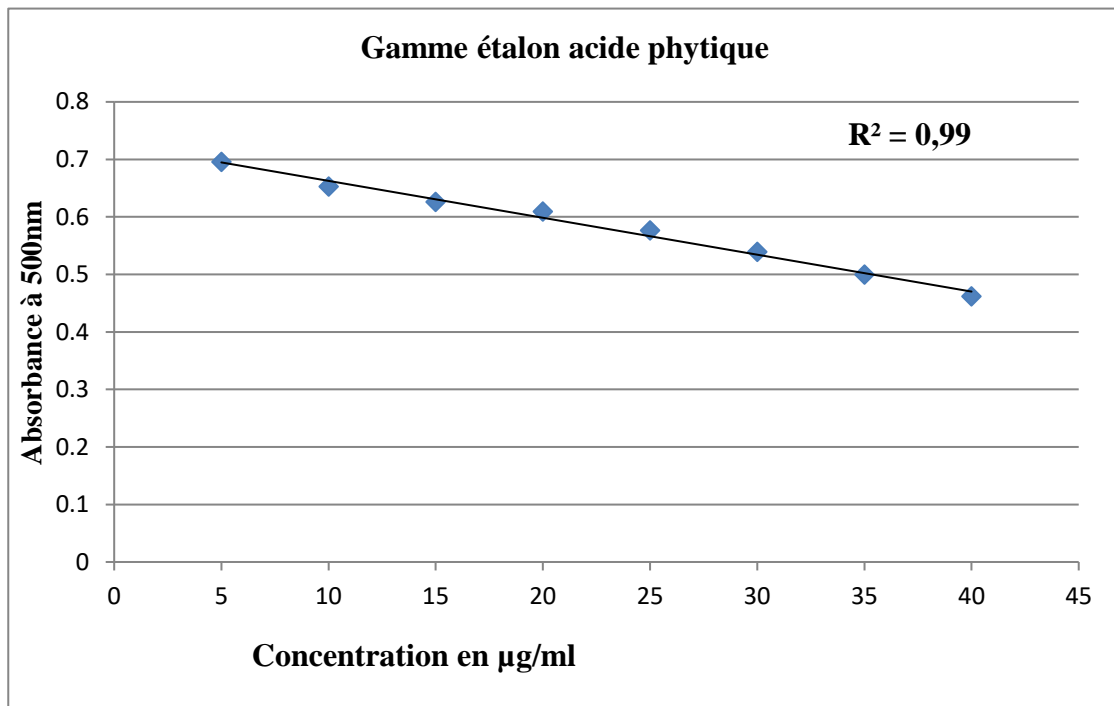


Figure 29 : Courbe d'étalonnage des phytates

Annexe 06

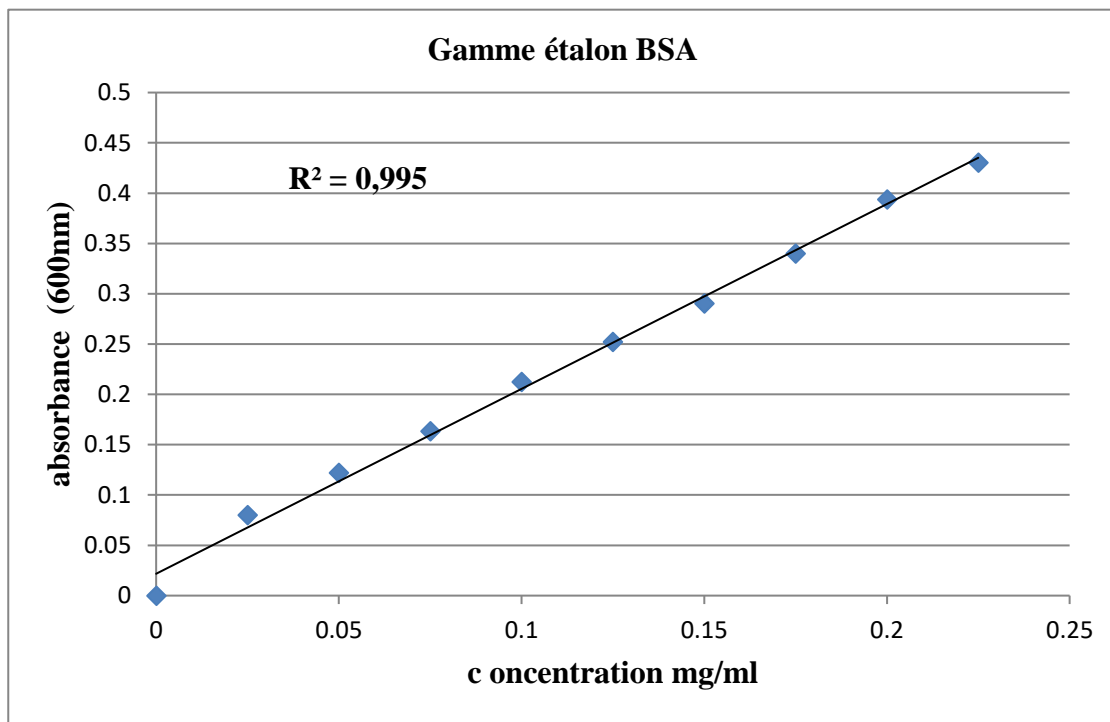


Figure 30 : Courbe d'étalonnage des protéines

Annexe 07 :

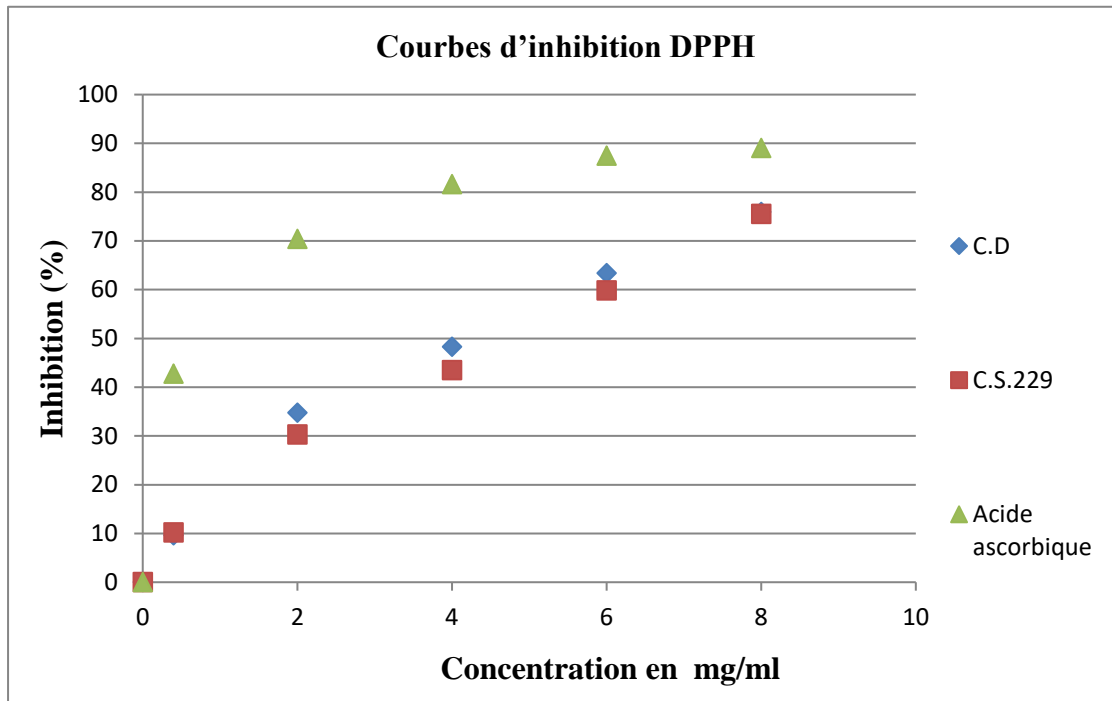


Figure 31 : Courbes d'inhibition des farines de lentilles

Annexe 08 :

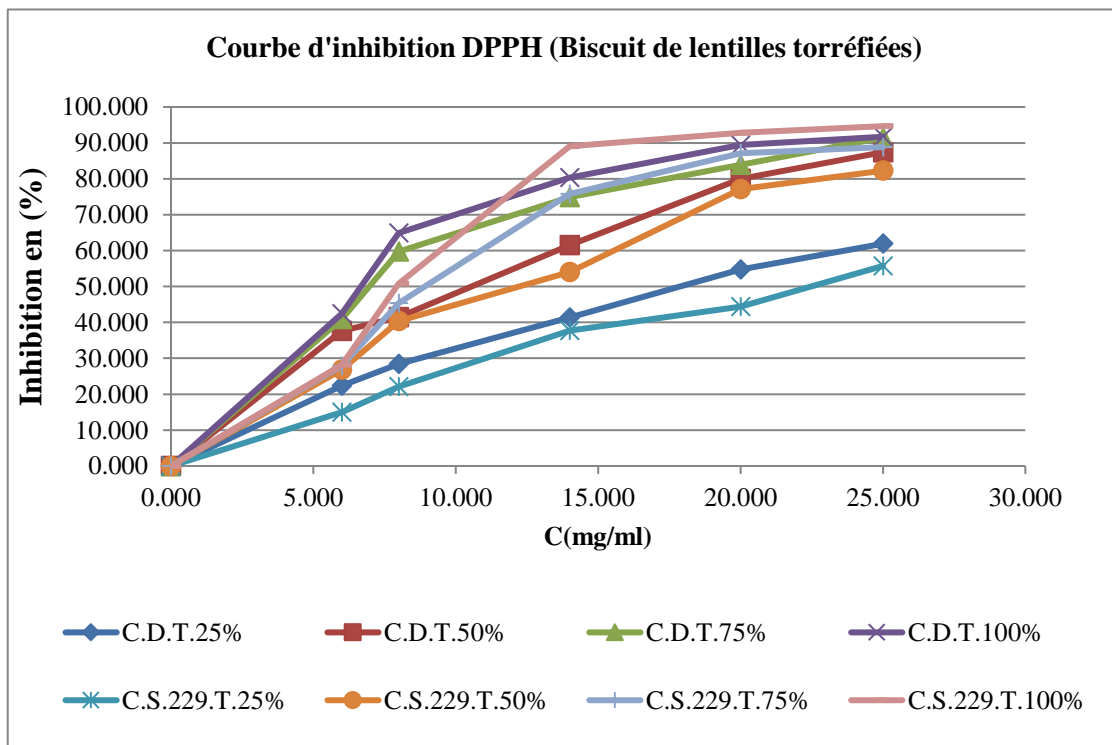


Figure 32 : Courbe d'inhibition du radical DPPH des biscuits de lentilles torrifiées

Annexe 09 :

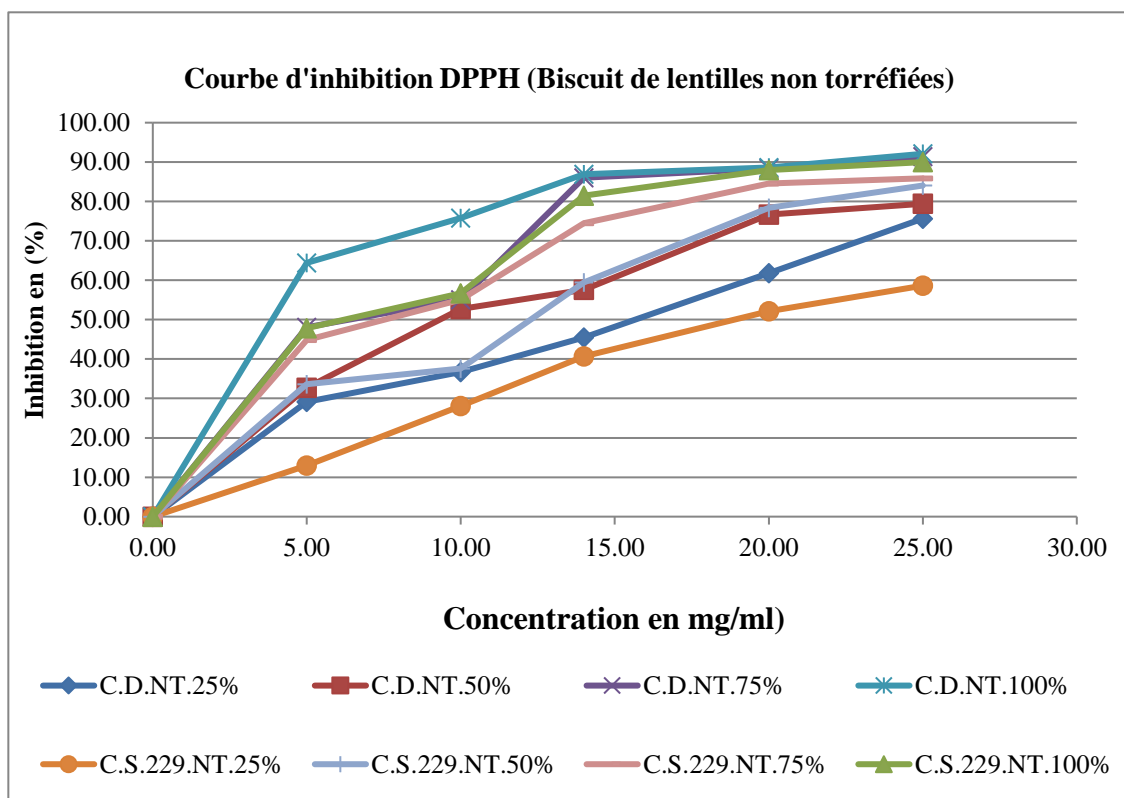


Figure 33 : Courbe d'inhibition du radical DPPH des biscuits de lentilles non torrifiées

