

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS – MOSTAGANEM



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Sciences et Technologies Alimentaires

THÈSE

PRESENTÉE POUR L'OBTENTION DE DIPLOME DE

DOCTORAT 3^{ème} cycle LMD

Par M^{elle} **ATTOU Asma**

THÈME

**Importance des légumineuses et essais d'incorporation
dans le régime alimentaire de l'Algérien**

Soutenu publiquement le **19/10/2022**

Devant les membres de Jury composé de :

M. Chougrani	Fadila	Pr	Président	Univ. Mostaganem
M.AOUAS	ABDELKADER	Pr	Examineur	Univ. Oran
M. AIT SAADA	Djamel	MCA	Examineur	Univ. Mostaganem
M. BOUDEROUA	Kaddour	Pr	Directeur de thèse	ESA. Mostaganem
M.CHERIGUENE	Abderrahim	Pr	CO-Directeur de thèse	Univ. Mostaganem

- Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition
- Laboratoire de Biotechnologie Appliquée à l'agriculture et à la préservation de l'environnement

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir accordé la santé et les moyens de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur le professeur Bouderoua Kaddour, directeur de l'école supérieure d'agronomie de Mostaganem qui a eu l'amabilité de m'encadrer, ainsi pour sa sympathie, sa disponibilité et surtout ses conseils et orientations lors de toutes les étapes de mon doctorat.

Mes remerciements s'adressent aussi à mon co-directeur de thèse Monsieur le professeur Cheriguene Abderrahim qui a Co-encadré les recherches engagées au cours de cette étude, merci de m'avoir encouragé et surtout pour la confiance que vous avez accordée toute au long de ces années.

Mes sincères remerciements et ma considération s'adressent également à Monsieur Ait Saada Djamel, maître de conférences à l'université de Mostaganem pour sa disponibilité et ses conseils et orientations lors de mon parcours de doctorat.

J'inscris mes remerciements les plus profonds et les plus sincères à M^{me} Chougrani Fadila, professeur à l'université de Mostaganem, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.

Ma reconnaissance la plus profonde s'adresse à Monsieur Aouas Abdelkader, professeur à l'université d'Oran de l'honneur qu'il me fait en acceptant de faire partie du jury comme examinateurs. Je tiens à les remercier pour l'intérêt qu'ils ont accordé à la lecture de ce manuscrit et leur exprimer ma profonde gratitude.

Je remercie également M^{me} Amari Nesrin pour sa disponibilité au laboratoire, vous avez su me faire bénéficier de vos expériences et compétences.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble du personnel de laboratoire de l'école supérieure d'agronomie et du laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition de l'université de Mostaganem pour leur aide quotidien.

J'exprime mon immense gratitude à toute ma famille..

Enfin, je salue et je remercie toute les personnes qui m'ont aidé.

Dédicaces

Je dédie cette thèse :

A mon Père et ma Mère

Pour tous leurs sacrifices,

Leurs encouragements et à qui,

cette thèse revient en premier.

A mes frères et sœurs

Abdelmajid, Abdennour, Mohamed et Faiza.

A toute ma famille

A mes amis

A toute l'équipe du laboratoire.

ASMA

Résumé

L'évaluation de la situation de consommation des légumineuses en Algérie à travers une enquête d'état des lieux a signalé une faible consommation, qui est étroitement liée à la saison, à l'exception du pois chiche qui présente une consommation s'étalant le long de l'année. L'enquête classe les différentes contraintes de consommation par ordre décroissant comme suit: le goût indésirable des légumineuses (30%) > le manque de recettes culinaires (28%) > le prix (22%) > le mode de cuisson (16%) > et la disponibilité sur le marché (4%). La torréfaction des graines a été évaluée pour son impact sur la qualité nutritionnelle (composition chimique, phytochimique, teneur en facteurs antinutritionnels (FAN): tanins condensés (TC) et phytates, et pouvoir antioxydant) de deux variétés de lentilles (DAHRA et SYRIE 229) cultivées en Algérie. La torréfaction induit une réduction notable du contenu initial en phytates (63%) et en TC (41%). Elle conduit cependant à une diminution du taux des protéines, des polyphénols et des flavonoïdes, et à une régression de l'activité antioxydante, ces réductions accroissent avec la température et la durée du traitement. La torréfaction des graines de lentilles à 140°C pendant 15 min et à 120°C pendant 30 min, respectivement pour les cultivars DAHRA et SYRIE 229 a été choisie en tant que traitement réduisant plus de FAN, et préservant un maximum de composés phytochimiques. L'étude des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles (FL) dévoile une importance technologique valorisante à l'échelle agro-industrielle. L'effet de la substitution partielle (25, 50 et 75%) ou complète (100%) de la farine de blé (FB) par la (FL) (cruées ou torréfiées) sur les qualités nutritionnelles et sensorielles du biscuit a été étudié. Quel que soit le taux de substitution, ces qualités sont nettement améliorées par l'utilisation de la FL; les protéines et les minéraux atteignent des niveaux intéressants de l'ordre de 27 et 3.9% respectivement. Le contenu en polyphénols et flavonoïdes s'agrandit d'environ 2 à 6 mg EAG/g et de 0,1 à 2,4 mg EQ/g respectivement ; ce contenu bioactif acquit (légèrement déprécié par la torréfaction chez les biscuits de lentilles torréfiées (BLT)) indique qu'elles servent d'aliments antioxydants. Par opposition à la FL crue, l'incorporation de la FL torréfiées réduit les teneurs en phytates et en TC des biscuits. Bien que l'évaluation sensorielle montre une appréciation générale des BLT à 25 et 50%, les biscuits à 100% de FL peuvent trouver un large attrait chez les personnes cœliaques. Notre étude met en évidence la possibilité d'utiliser la FL torréfiées comme alternative de la FB en vue d'améliorer la qualité nutritionnelle et sensorielle du biscuit.

Mots-clés : lentilles, facteurs antinutritionnels, torréfaction, biscuit, activité antioxydante, qualité nutritionnelle.

Abstract

The evaluation of the consumption situation of legumes in Algeria through an inventory survey indicated a low consumption, which is closely linked to the season, with the exception of chickpea which presents a consumption spread over the year round. The survey ranks the various consumption constraints in descending order as follows: the undesirable taste of legumes (30%) > the lack of culinary recipes (28%) > the price (22%) > the cooking method (16%) > and the availability on the market (4%). The roasting of the seeds was evaluated for its impact on the nutritional quality (chemical composition, phytochemicals, content of antinutritional factors (ANF): condensed tannins (CT) and phytates, and antioxidant power) of two varieties of lentils (DAHRA and SYRIA 229) cultivated in Algeria. Roasting induces a notable reduction in the initial content of phytates (63%) and CT (41%). However, it leads to a reduction in the level of proteins, polyphenols and flavonoids, and to a regression of the antioxidant activity, these reductions increases with the temperature and the treatment duration. The roasting of lentil seeds at 140°C for 15 min and at 120°C for 30 min, respectively for the DAHRA and SYRIA 229 cultivars, was chosen as a treatment reducing more ANF, and preserving a maximum of phytochemicals. The study of the functional properties of lentil flour (LF) reveals a valuable technological importance at the agro-industrial scale. The effect of partial (25, 50 and 75%) or complete (100%) substitution of wheat flour (WF) by (LF) (raw or roasted) on the nutritional and sensory qualities of the biscuit was studied. Regardless of the substitution rate, these qualities are significantly improved by the use of LF; proteins and minerals reach interesting levels of around 27 and 3.9% respectively. The content of polyphenols and flavonoids increases by about 2 to 6 mg GAE/gl and by 0,1 to 2,4 mg QE/gl respectively; this acquired bioactive content (slightly depreciated by roasting in roasted lentil biscuits (RoLB)) indicates that they serve as antioxidant foods. As opposed to raw LF, the incorporation of roasted LF reduced the phytate and CT contents of biscuits. Although sensory evaluation shows a general appreciation of 25 and 50% RoLB, 100% LF biscuits may find wide appeal among celiacs. Our study highlights the possibility of using roasted LF as an alternative to WF in order to improve the nutritional and sensory quality of the biscuit.

Keywords: lentils, antinutritional factors, roasting, biscuit, antioxidant activity, nutritional quality.

الملخص

أشار استبيان تقييم مستوى استهلاك البقوليات في الجزائر إلى انخفاض معتبر مرتبط ارتباطاً وثيقاً بالموسم السنوي، باستثناء الحمص الذي يستهلك على مدار السنة. صنف الإستهبان قيود الإستهلاك المختلفة بترتيب تنازلي على النحو التالي: المذاق غير المرغوب فيه للبقوليات (30%) < نقص وصفات الطهي (28%) < السعر (22%) < طريقة الطهي (16%) < ووفرتها في السوق الجزائرية (4%). مكن التحميص من خفض المحتوى الأولي للفيتات (63%) والتانينات المكثفة (41%)، ومع ذلك فقد أدى إلى انخفاض في مستوى البروتينات والبوليفينول والفلافونويد، وإلى تراجع في نشاط مضادات الأكسدة، كما ازداد هذا الانخفاض مع مدة ودرجة حرارة التحميص. تم اختيار تحميص بذور العدس على 140 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة، وعلى 120 درجة مئوية لمدة 30 دقيقة على التوالي للأصناف DAHRA و SYRIE 229 كأحسن عمليتي تحميص للتقليل من العوامل المضادة للتغذية مع الحفاظ على الحد الأقصى من الجزيئات الفيتوكيميائية. كشفت دراسة الخصائص الوظيفية لدقيق العدس عن أهمية تكنولوجية قيمة على مستوى الصناعة الزراعية. تمت دراسة تأثير الإستبدال الجزئي (25،50 و 75%) أو الكلي (100%) لدقيق القمح بدقيق العدس (محمص أو غير محمص) على القيمة الغذائية والحسية للبسكويت. أيا كان معدل الإستبدال فقد سجل تحسن لهتين القيمتين بشكل كبير بعد إضافة دقيق العدس ؛ حيث بلغت البروتينات والمعادن مستويات مثيرة للاهتمام قدرت بحوالي 27 و 3.9% على التوالي، كما ارتفع محتوى البوليفينول والفلافونويد بنسبة 2 إلى 6 مغ/غ، وبنسبة 0,1 إلى 2,4 مغ/غ على التوالي ؛ يشير هذا المحتوى النشط بيولوجياً (يضعف قليلاً أثناء عملية التحميص لدى بسكويت العدس المحمص) إلى اكتساب بسكويت العدس ميزة العمل كغذاء مضاد للأكسدة. بعكس دقيق العدس الغير محمص، فإن دمج دقيق العدس المحمص يؤدي إلى تقليل محتويات الفيتات والتانينات المكثفة للبسكويت. رغم أن التقييم الحسي يُظهر تفضيلاً عاماً لبسكويت العدس المحمص 25 و 50%، إلا أن بسكويت العدس 100% قد يلقي إقبالا واسعا لدى مرضى السيلياك. تبرز هذه الدراسة إمكانية استخدام دقيق العدس المحمص كبديل لدقيق القمح بغرض تحسين الجودة الغذائية والحسية للبسكويت.

الكلمات المفتاحية: العدس ، العوامل المضادة للتغذية ، التحميص ، البسكويت ، الفعالية المضادة للأكسدة ، الجودة الغذائية.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Partie bibliographique	
Chapitre I. Les lentilles alimentaires (<i>lens culinaris</i>): généralités et production	4
1. Description et caractéristiques botaniques des lentilles.....	4
2. Taxonomie de la lentille.....	4
3. Ecologie, croissance et développement.....	5
4. Origine et répartition géographique.....	5
5. Production	5
5.1. production mondiale.....	5
5.2. Production nationale.....	6
5.3. Superficie récoltée, production et rendement en lentilles en 2020.....	7
6. Composition chimique des lentilles.....	8
6.1. Composition globale.....	8
6.2. Protéines et acides aminés.....	9
6.3. Eléments minéraux.....	9
6.4. Glucides.....	10
6.5. Vitamines.....	10
6.6. Composants bioactifs.....	11
7. Lentilles et santé.....	11
Chapitre II. Facteurs antinutritionnels et traitements	13
1. Facteurs antinutritionnels.....	13
1.1. Acide phytique.....	13
1.2. Tanins.....	14
1.3. Inhibiteurs de protéase.....	15
1.4. Saponines.....	15
1.5. Lécithine.....	16
1.6. Alpha-galactooligosides	17
2. Traitements réduisant les facteurs antinutritionnels	18
2.1. Traitements physiques.....	18
2.2. Traitements thermique.....	19
2.3. Traitements biochimiques.....	21

Chapitres III. Incorporation des légumineuses dans la fabrication du biscuit.....23

1. Le biscuit.....	23
1.1. Présentation.....	23
1.2. Définition.....	23
1.3. Ingrédients de formulations de biscuit et leurs effets.....	23
1.4. Processus de fabrication du biscuit.....	25
2. Biscuit enrichi en legumineuses.....	25
2.1. Complémentation céréales-légumineuse.....	25
2.2. Produits de biscuiterie enrichis en légumineuses.....	26
2.3. Incorporation des lentilles dans différentes formulations.....	27
3. Biscuit sans gluten.....	27
3.1. Interet chez les personnes scealiaques.....	27

Partie expérimentale

Etude I. Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux.....29

1. Intérêt de l'enquête.....	29
2. Préparation du questionnaire.....	29
3. Méthodologie.....	29
3.1.Déroulement de l'enquête.....	30
3.2.Collecte et saisie des donnés.....	30
4. Résultats et discussion.....	31
4.1.Statut des enquêtés participants à l'enquête.....	31
4.2.Expériences d'achats et de consommation des légumineuses.....	32
4.3.Connaissances sur les légumineuses.....	33
4.4.Consommation des légumineuses en Algérie.....	33
4.4.1. Consommation saisonnière.....	33
4.4.2. Mode de consommation	34
4.4.3. Consommation chez l'enfant.....	35
4.4.4. Contraintes de consommation.....	36
4.5.Mode de cuisson.....	36
4.6.Classement par préférence.....	37
4.7.Interrogatoire spécifique.....	38
5. Conclusion.....	39

Etude II. Effet du traitement de torréfaction sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels de la farine de lentilles.....	40
1. Matériel végétal	40
2. Méthodologie	40
2.1. Traitement des graines de lentilles (torréfaction).....	40
2.2. Préparation de la farine de lentilles torréfiées	41
2.3. Détermination de la composition chimique globale	41
2.3.1. Teneur en matière sèche, en cendres et taux d'humidité	41
2.3.2. Teneur en protéines	42
2.3.3. Teneurs en glucides.....	42
2.3.3.1. Teneurs en sucres solubles.....	43
2.3.3.2. Teneurs en sucres réducteurs.....	43
2.3.3.3. Teneurs en amidon.....	43
2.3.4. Teneur en matières grasses.....	44
2.3.5. Apport énergétique.....	44
2.4. Détermination du contenu phyto-chimique.....	44
2.4.1. Préparation de l'extrait végétal.....	44
2.4.2. Teneur en polyphénols totaux.....	45
2.4.3. Teneur en flavonoïdes totaux	45
2.5. Analyses des facteurs antinutritionnels.....	45
2.5.1. Teneur en tanins condensés.....	45
2.5.2. Teneur en acide phytique.....	46
2.6. Evaluation de l'activité antioxydante	46
2.6.1. Test du piégeage des radicaux DPPH.....	46
2.6.2. Test du piégeage des radicaux ABTS.....	47
2.6.3. Test de pouvoir antioxydant reducteur ferrique FRAP.....	48
2.7. Analyses des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles.....	49
2.7.1. Capacité d'absorption d'eau et d'huile.....	49
2.7.2. Capacité émulsifiante	49
2.7.3. Capacité moussante	50
2.7.4. Capacité de gélification.....	50
2.8. Analyse statistique.....	50
3. Résultats et discussion.....	51
3.1. Composition chimique globale.....	51

3.2. Apport en énergie brute	53
3.3. Effet du traitement de torréfaction sur la teneur en polyphénols et en flavonoïdes	54
3.4. Effet du traitement de torréfaction sur la teneur en facteurs antinutritionnels.....	55
3.5. Effet du traitement de torréfaction sur l'activité antioxydante.....	57
3.6. Analyse statistique de la corrélation.....	59
3.7. Evaluation des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles	60
4. Conclusion.....	64

Etude III. Effet de la substitution de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torréfiées sur la qualité du biscuit.....65

1. Matériel.....	65
1.1. Matières premières.....	65
1.2. Formulations des farines pour la fabrication de biscuit de lentilles.....	66
2. Méthodologie	66
2.1. Fabrication des biscuits.....	66
2.2. Analyses chimiques des biscuits fabriqués	67
2.3. Analyse sensorielle des biscuits	68
2.4. Analyse statistique	68
3. Résultats.....	69
3.1. Composition chimique globale du biscuit.....	69
3.1.1. Teneur en protéines	69
3.1.2. Teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs.....	70
3.1.3. Teneur en lipides totaux.....	71
3.1.4. Apport en énergie brute.....	71
3.1.5. Taux d'humidité et de cendres.....	72
3.2. Analyses phytochimiques	73
3.2.1. Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes.....	73
3.2.2. Teneur en facteurs antinutritionnels.....	74
3.2.3. Evaluation du pouvoir antioxydant des biscuits	75
3.3. Analyse statistique de la corrélation.....	76
3.4. Analyse sensorielle	77
4. Discussion générale.....	78
5. Conclusion	81
Conclusion générale.....	82

Références bibliographiques.....84

Annexes

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Composition chimique des lentilles	8
2	Composition des lentilles en acides aminés	9
3	Composition des lentilles en éléments minéraux	9
4	Teneur en sucres des graines de lentilles	10
5	Teneur en vitamines des lentilles	10
6	Teneur en composants bioactifs des graines de lentilles	11
7	Effets bénéfiques des composants des lentilles sur la santé humaine	12
08	Exemples de biscuit enrichis de légumineuses et de biscuits sans gluten.	26
09	Produits innovants à base de farine de lentilles	27
10	Informations générales et profils des enquêtes	31
11	Expériences d'achats et de consommation des légumineuses	32
12	Informations spécifiques des variétés de lentilles étudiées	40
13	Activité antioxydante des FL crues et torréfiées et de la FB mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP	57
14	Coefficients de corrélation de Pearson entre l'activité antioxydante et le contenu phyto-chimique des farines de lentilles	59
15	Propriétés fonctionnelles des farines de lentilles et de la farine de blé	60
16	Ingrédients utilisés pour la fabrication des biscuits	66
17	Activité antioxydante des différents biscuits mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP	75
18	Coefficients de corrélation de Pearson (R^2) entre l'activité antioxydante et le contenu phyto-chimique des biscuits de lentilles.	76

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Plante de lentilles <i>Lens culinaris</i>	4
2	Situation de l'Algérie en production des légumineuses et des céréales	5
3	Evolution de la production des légumineuses en Algérie	6
4	Superficie récoltée, production et rendement en lentilles	7
5	Structure moléculaire des phytates	13
6	Structure moléculaire des tannins condensés et des tanins hydrolysables	14
7	Structures aglycones des saponines triterpénoïdes et stéroïdienne	16
08	Structure moléculaire des sucres impliqués dans les flatulences	17
09	Etapas de fabrication des biscuits	25
10	Connaissances des enquêtés sur les légumineuses	33
11	Consommation saisonnière des légumineuses en Algérie	33
12	Mode de consommation des légumineuses en Algérie	34
13	Mode de consommation des légumineuses chez l'enfant	35
14	Contraintes de consommation des légumineuses en Algérie	36
15	Mode de consommation des légumineuses chez l'enfant	36
16	Classement par préférence des légumineuses en Algérie	37
17	Opinion des enquêtés sur les produits innovants à base de légumes secs	38
18	Graines de lentilles du cultivar Dahra et du cultivar Syrie 229	40
19	Farines des graines de lentilles torréfiées et non torréfiées des cultivars Dahra et Syrie 229	41
20	Décoloration du radical DPPH après réduction par l'antioxydant	47
21	Réduction du radical ABTS ⁺ par l'antioxydant de l'échantillon induisant sa décoloration.	48
22	Réduction du complexe incolore [Fe] ³⁺ en un complexe intensément bleu [Fe] ²⁺ par l'antioxydants.	49
23	Composition chimique globale des farines de lentilles et de la farine de blé	51
24	Apports en énergie brute des farines de blé, de lentilles crues et de lentilles torréfiées	53
25	Contenu en phénols totaux et en flavonoïdes totaux des farines de blé, de lentilles crues et de lentilles torréfiées	54

26	Contenu en tanins condensés et en phytates des farines de blé, des lentilles crues et des lentilles torréfiées	55
27	Diagramme de fabrication des farines de lentilles	65
28	Farine de lentilles et Farine de blé	65
29	Diagramme de fabrication du biscuit de lentilles à différentes formulations	67
30	Biscuits à différents taux d'incorporation de farine de lentilles	67
31	Teneurs protéiques du biscuit de blé et des biscuits de lentilles	69
32	Teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs du biscuit de blé et des biscuits de lentilles	70
33	Teneurs en lipides totaux du biscuit de blé et des biscuits de lentilles	71
34	Apports en énergie brute des biscuits de lentilles et du biscuit de blé	71
35	Taux d'humidité et de cendres des biscuits de lentilles et du biscuit de blé	72
36	Teneurs des biscuits en polyphénols et en flavonoïdes totaux	73
37	Contenu en FAN des biscuits (phytates et tannins condensés)	74
38	Qualité sensorielle des biscuits fabriqués	77

Liste des abréviations

ABTS	Acide 2, 2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
BB	Biscuit de blé
BCD	Biscuit du cultivar Dahra
BCDC	Biscuit du cultivar Dahra cru (non torréfié)
BCDT	Biscuit du cultivar Dahra torréfié
BCS229	Biscuit du cultivar Syrie 229
BCS229C	Biscuit du cultivar Syrie 229 cru (non torréfié)
BCS229T	Biscuit du cultivar Syrie229 torréfié
BLC	Biscuit de lentilles crues
BLT	Biscuit de lentilles torréfiées
BSA	Sérum Albumine Bovin
CAE	Capacité d'absorption d'eau
CAH	Capacité d'absorption d'huile
CD	Cultivar Dahra
Cd%	Teneur de cendre en pourcent
CDC	Cultivar Dahra cru (non torréfié)
CDT	Cultivar Dahra torréfié
CE	Capacité émulsifiante
CFT	Contenu en flavonoïdes totaux
CI50	Concentration inhibitrice de 50% des radicaux libres
CM	Capacité moussante
CMG	Concentration minimale de gélification
CPT	Contenu en polyphénols totaux
CS229	Cultivar Syrie 229
CS229C	Cultivar Syrie 229 cru (non torréfié)
CS229T	Cultivar Syrie 229 torréfié
CTC	Contenu en tanins condensés
DNS	Acide di-nitrosalicylique
DPPH	2,2'- diphényl-1 picrylhydrazyl
EB	Energie Brute
ECA	Enzyme de conversion angiotensine
FAN	Facteurs antinutritionnels

FAO	Food and agriculture organisation
FB	Farine de blé
FL	Farine de lentilles
FLC	Farine de lentilles crues
FLT	Farine de lentilles torréfiées
FRAP	Pouvoir antioxydant reducteur ferrique
Ig	Index glycémique
MCV	Maladie cardio-vasculaire
MG	Matière grasse
mg EAG/g	Milligramme équivalent acide gallique par gramme de lyophilisat
mg EAp/g de m.s	Milligramme équivalent acide phytique par gramme de matière sèche
mg EC/g	Milligramme équivalent catéchine par gramme de lyophilisat
mg EQ/g	Milligramme équivalent quercétine par gramme de lyophilisat
MM	Matière minérale
M h	Millions d'hectares
MS	Matière sèche
Mt	Millions de tonnes
P	Poids:masse de la prise d'essai
RAE	Retinol Activity Equivalents
SM	Stabilité moussante
TIA	Trypsin inhibitor activity (Inhibiteurs de l'activité trypsique)
Tpm	Tour par minute

INTRODUCTION

Introduction

La nutrition est un déterminant majeur de la santé, de la productivité du travail et du développement mental. Mais dans la plupart des pays en voie de développement, la faim et la malnutrition augmentent en raison de l'explosion démographique, du manque de terres fertiles et des prix élevés des denrées alimentaires. Les légumineuses sont adaptées à diverses conditions climatiques et sont consommées par des millions de personnes dans le monde. Elles sont reconnues pour leur importance nutritionnelle grâce à la richesse en protéines, vitamines et minéraux, glucides et fibres alimentaires et en composés phyto-chimiques (Vadivel et Pugalenth, 2010; Singh *et al.*, 2017).

Parmi les légumineuses cultivées, les lentilles contiennent tant d'éléments nutritifs essentiels pour la santé humaine, ce qui en fait une source de nourriture pour les pays en développement (Marathe, 2011), les personnes à faibles revenus (Hoover *et al.*, 2010) et les végétariens (Yeo et Sharidi, 2017). L'ajout de lentilles dans l'alimentation aide à contrôler le diabète et les maladies artérielles (Jenkins *et al.*, 1980) et diminue le risque de développer des cancers du tube digestif (Aune, 2009). De plus, l'abondance des polyphénols (environ 7,45 mg de EAG/100 g) (Padhi *et al.*, 2017) et des flavonoïdes (environ 2,21 mg EC/gl) (Xu et Chang, 2007) leur confère une valeur nutritive plus élevée ou comparable à celles des fruits et légumes (Oomah *et al.*, 2011; Fratianni *et al.*, 2014), permettant de les considérer comme une véritable source d'antioxydants naturels (Amarowicz *et al.*, 2010).

Cependant, le bénéfice de cette composition précieuse en nutriments est limité par la présence d'une multitude de substances intervenant comme facteurs antinutritionnels (Porres *et al.*, 2003). L'acide phytique, qui chélate les minéraux et nuit à leur absorption et réduit leur biodisponibilité dans l'organisme (Reddy *et al.*, 1988; Fernández *et al.*, 1997; Gupta *et al.*, 2013). Les tannins condensés qui se lient aux protéines et réduisent leur qualité nutritionnelle (Hahn *et al.*, 1984; Hefawy *et al.*, 2011) en diminuant leur digestibilité et par conséquent réduit la disponibilité des acides aminés (Adsule et Kadam, 1989; Wang *et al.*, 2009).

L'élimination des composants indésirables est essentielle pour améliorer la qualité nutritionnelle des légumineuses. Il est largement admis que des techniques de traitement simples et peu coûteuses constituent une méthode efficace pour effectuer les changements souhaitables dans la composition des graines. Ainsi, différents auteurs ont rapporté que le trempage (Vidal-Valverde *et al.*, 2002), la cuisson (Yeo et Shahidi, 2017; Hefawy *et al.*, 2011), la germination, la fermentation, l'extrusion (Rathod et Annapure, 2016), le décorticage (Wang *et al.*, 2009) et la torréfaction (Gahalawat et Sehagal, 1992; Vagadia *et al.*, 2017)

améliorent la qualité nutritionnelle des légumineuses en éliminant et/ou réduisant certains facteurs antinutritionnels (Wang et *al.*, 2009).

La torréfaction est un traitement thermique rapide utilisant la chaleur sèche pendant de courtes périodes (Sandhu et *al.*, 2017). Le processus de torréfaction réduit les facteurs antinutritionnels des céréales et des légumineuses, améliore la couleur et prolonge la durée de conservation (Gahalawat et Sehagal, 1992), et donne une saveur plus intense au produit torréfié, de plus, les graines torréfiées présentent une texture améliorée et une croustillance accrue (Sharma et *al.*, 2011). Bien que le processus de torréfaction soit habituellement appliqué à certains aliments comme le café et les noix en raison de son importance dans la promotion de leur qualité nutritionnelle, cependant, à notre connaissance, aucune étude traitant la torréfaction des graines de lentilles pour réduire les niveaux d'éléments anti-nutritifs et augmenter leur valeur nutritionnelle dans l'organisme n'a été enregistrée.

D'autre part, la forte concurrence exercée par les produits animaux contre les produits à base de légumineuses, le problème de flatulence associé à leur consommation, les repas cuits rapidement, et le mode de préparation traditionnelle des légumineuses en Algérie abaissent leur taux de consommation. Les consommateurs manquent de temps pour prendre des repas complets, et s'orientent vers une consommation accrue d'aliments de collation comme les biscuits, qui sont un moyen idéal pour transporter de nombreux ingrédients nutritifs (Ansari et Kumar, 2012).

Une attention particulière a été accordée aux aliments entiers, qui servent souvent de source de composants biologiquement actifs, ainsi qu'à la réduction des coûts de production (Shahidi, 2009). D'autre part, les légumineuses et les céréales ont toujours été cultivées ensemble et consommées ensemble (Couscous et pois chiche en Algérie), la valeur nutritionnelle des protéines des céréales s'améliore en lui combinant de celles des légumes secs déficitaires en acides aminés soufrés. Cependant, le gluten contenu dans la farine de blé provoque la maladie cœliaque, et contribue à l'élévation de la teneur en glucides complexes du biscuit, source d'obésité chez l'enfant. Par conséquent, la farine de blé est substituée ou parfois remplacée par la farine des légumineuses riches en protéines pour l'élaboration de biscuits plus nutritifs (Zucco, Borsuk et Arntfield, 2011; Cheng, et Bhat, 2016). 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.

Ainsi, la présente étude a pour objectif d'inciter la consommation des légumes secs chez l'Algérien grâce aux produits innovants à base de légumineuses, de ce fait, l'évaluation

de la situation de leur consommation en Algérie à travers une enquête d'état des lieux semble être une démarche prioritaire. En second objectif, vient la réduction des niveaux des facteurs antinutritionnels (phytates et tannins condensés) contenus dans les graines de légumineuses choisies pour l'étude (deux variétés de lentilles *Lens culinaris. Medik* cultivées localement: DAHRA et SYRIE 229), à travers un traitement de torréfaction adapté. Nous ciblons par la suite l'évaluation de l'effet de la substitution partielle (25, 50, 75%) ou complète (100%) de la farine de blé tendre par la farine de lentilles crues ou torréfiées, sur la qualité nutritionnelle (composition chimique globale, teneur en facteurs antinutritionnels phytates et tannins condensés, teneur en composés bioactifs, activité antioxydante), et sur la qualité sensorielle d'un biscuit salé de lentilles. L'utilisation de la farine de lentilles dans la fabrication du biscuit sert à une complémentation céréales-légumineuses et à l'élaboration d'un biscuit sans gluten.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I.

Les lentilles

alimentaires

(*lens culinaris*):

généralités et

production

Chapitre I. Les lentilles alimentaires (*Lens culinaris*): généralités et production

1. Description et caractéristiques botaniques des lentilles

La lentille (*Lens culinaris*) est une plante herbacée annuelle érigée, vert pâle, atteignant 60 cm de haut, de tige carrée, fortement ramifiée, de racine pivotante mince. Les feuilles sont alternes composées-pennées à 5-16 folioles, rachis de 1 à 5 cm de long, généralement terminée par une vrille ou une soie, stipules entières de 2.5-6 mm de long, folioles opposés ou alternes, sessiles de 1,5 mm. Le fruit est une gousse rhomboïde, composée latéralement, de 6-20 mm *3.5-12 mm, pourvue d'un court bec, à 1 à 2 graines en forme de lentille optique, de 2-9 mm *2-3 mm, grises, vertes, vert brunâtre, rouge pâle mouchetées de noir, ou noires, à germination hypogée. La taille des graines permet de distinguer deux groupes: groupe microsperma (diamètre inférieur à 6 mm) et groupe macrosperma (diamètre supérieur à 6 mm) (Brink et Belay, 2006).

2. Taxonomie de la lentille

D'un point de vue taxonomique, la classification des lentilles se présente comme suit (Joshi et al., 2017):

Règne : Plantae
Sous Règne : Tracheobionta
Embranchement : Spermatophyta
Sous Embranchement : Magnoliophyta
Classe : Magnoliopsida
Sous Classe : Rosidae
Ordre : Fabales
Famille : Fabaceae,
Genre : *Lens*
Espèce : *Lens culinaris*

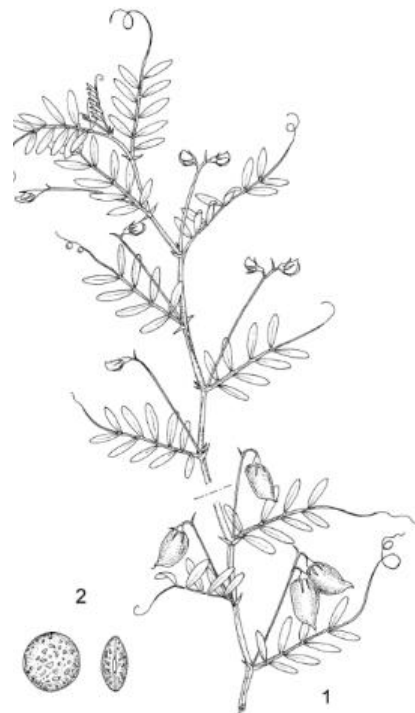


Figure 1: Plante de lentilles *Lens culinaris*. 1, rameau en fleurs et en fruit; 2, graines (Brink et Belay, 2006).

3. Ecologie, croissance et développement

La lentille est cultivée dans les zones tempérées et tropicales, sur les sols sableux à argileux à pH 4.5-9 et pousse à des températures moyennes de 6-27°C. Les graines de lentilles germent en 5-6 jours. La floraison débute 6 à 7 semaines après le semis. Le cycle de croissance est de 80-110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125 à 130 jours pour les cultivars à cycle long. La plante est récoltée lorsque les gousses virent au jaune-brun et que les plus bas sont encore fermes (Brink et Belay, 2006).

4. Origine et répartition géographique

Cultivée et consommée comme aliment depuis il y a 9 500 à 13 000 ans (Joshi et al., 2017), la lentille est un des plus anciens légumes secs cultivés en Asie occidentale, en Egypte et en Europe méridionale. Elle est probablement originaire d'Asie occidentale, d'où elle s'est diffusée vers la Méditerranée, l'Asie, l'Afrique et l'Europe. La lentille a été introduite aux Amériques, en Nouvelle-Zélande et en Australie. Elle est maintenant largement cultivée dans les régions tempérées et subtropicales, ainsi que dans les tropiques en altitude et pendant les saisons froides. Sa culture se pratique aussi au Maroc, en Tunisie, en Algérie, en Libye et en Afrique du Sud (Brink et Belay, 2006).

5. Production

5.1. Production mondiale

En Algérie, cette production est à la traîne par un total de 115 Mt (0,3%) en 2020 (FAOSTAT, 2022).

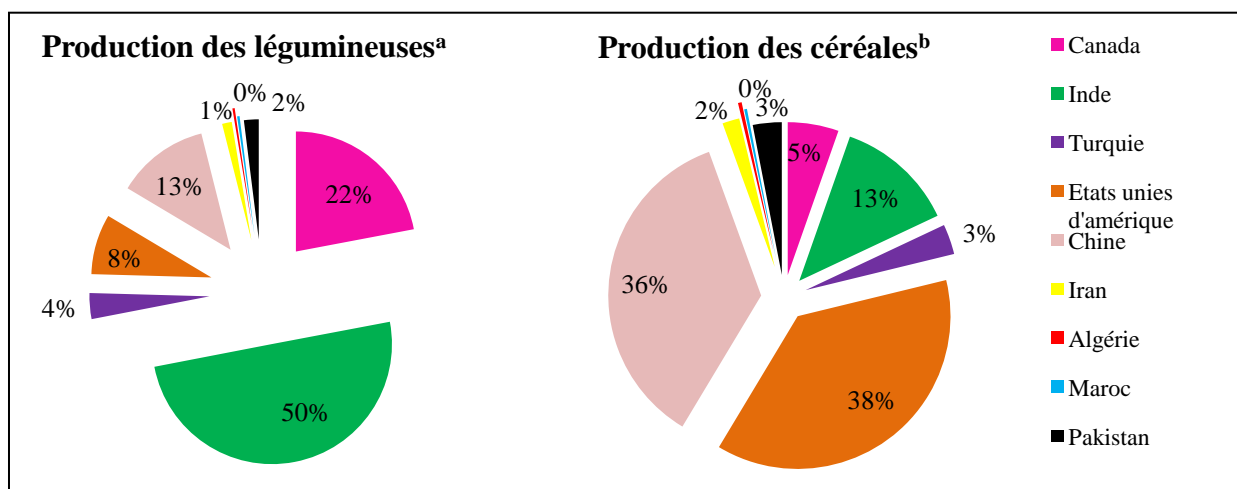


Figure 2: Situation de l'Algérie en production des légumineuses et des céréales; **a:** lentilles, haricots secs, pois chiche, pois secs, fèves; **b:** blé, orge, maïs (FAOSTAT, 2022).

A l'exception du Canada, la production mondiale des légumineuses est moins développée par comparaison à celle des céréales, l'Algérie manifeste une productivité tardive. L'Inde est le premier producteur mondial de légumineuses affichant une production estimée à 18.52 millions de tonnes (50%), suivie du Canada avec 8167 Mt (22%), la chine et les Etats Unies d'Amérique rivalisent pour la 3^{ème} place.

5.2. Production nationale

D'après les statistiques de la FAO (2022), la production nationale des légumineuses durant 2015-2020 s'élevait à 27,8 Mt (31,9%) sur une superficie de 595 M ha. Les principales légumineuses produites en Algérie sont la fève (290 Mt), suivie du pois chiche (194 Mt) puis des lentilles (102 Mt), leur production était plus notable en 2018 et 2019, tandis que les niveaux de production des haricots (10 Mt) et des pois secs (62 Mt) restent inférieurs à 3 et 13 Mt/ans respectivement, sur une superficie de 71 M ha durant les cinq ans (FAOSTAT, 2022).

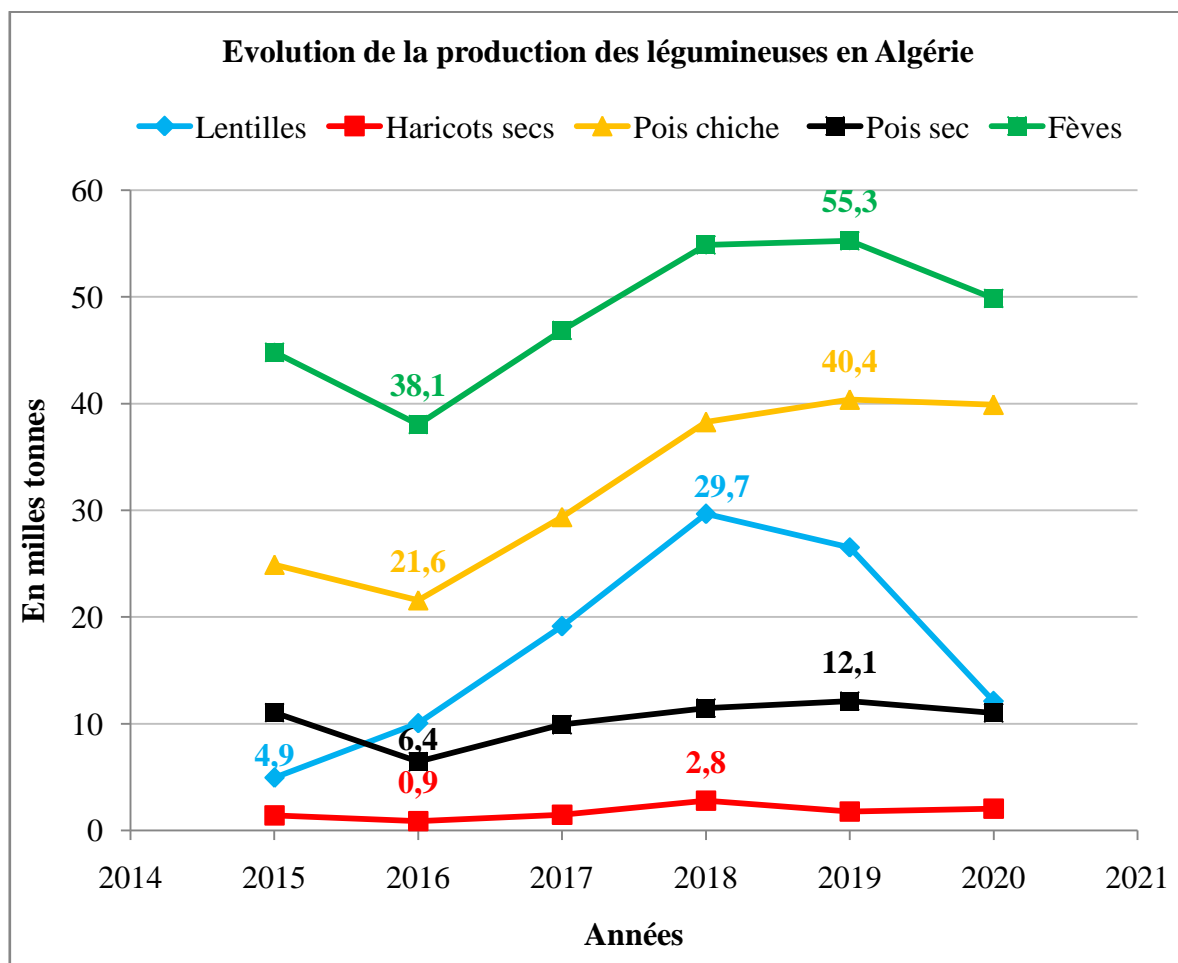


Figure 3: Evolution de la production des légumineuses en Algérie (FAOSTAT, 2022).

5.3. Superficie récoltée, production et rendement en lentilles en 2020

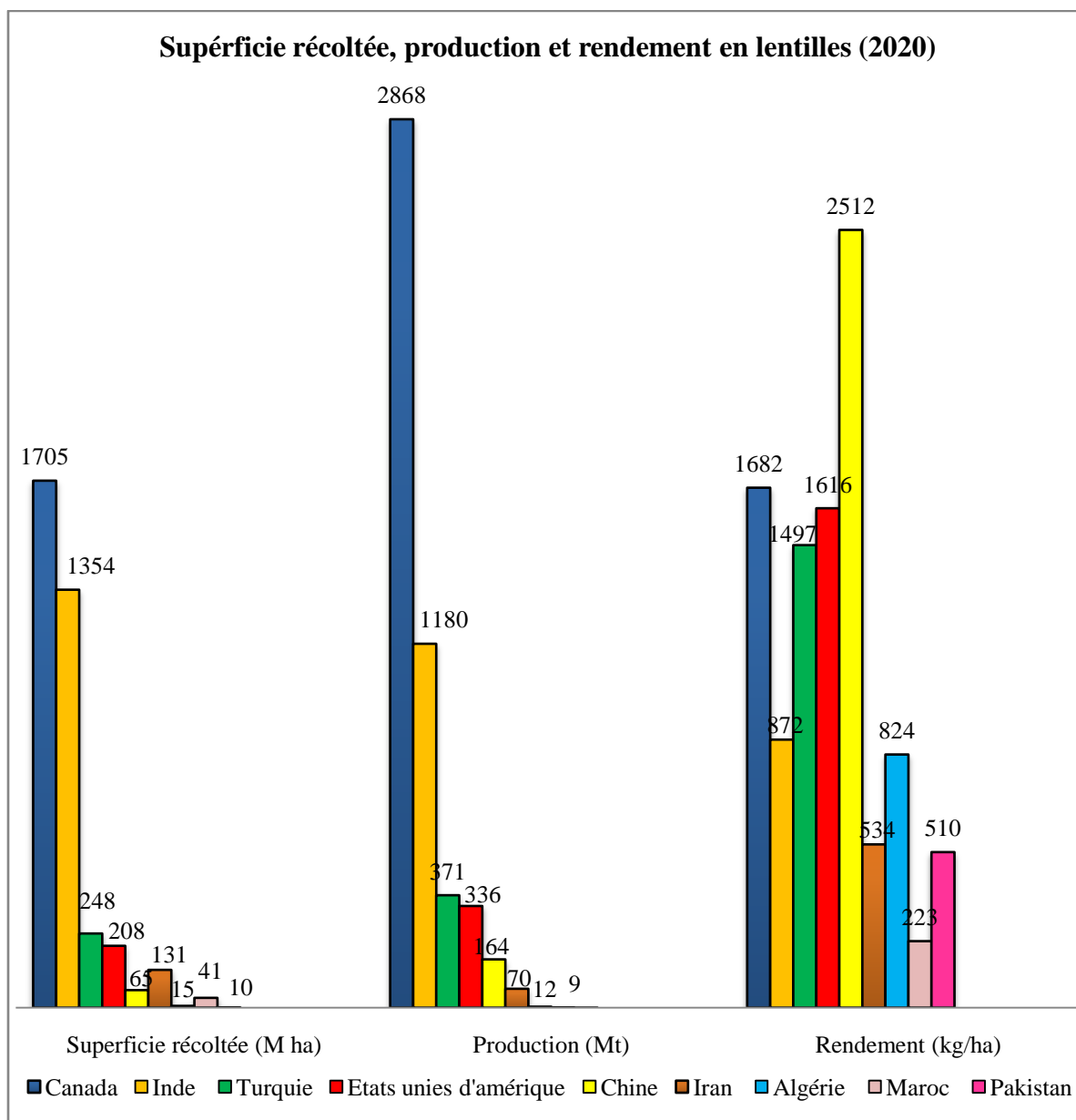


Figure 4: Superficie récoltée, production et rendement en lentilles (FAOSTAT, 2020)

Les données statistiques sur la superficie emblavée, la production et le rendement en lentilles pour l'an 2020 sont illustrées par la figure 4. Le Canada s'affiche en premier rang en matière de production de lentilles à l'échelle mondiale (2868 Mt), sur une superficie de 1705 M ha, suivie de l'Inde et de la Turquie. En Algérie, 12 Mt de lentilles sont produits sur une superficie de 15 M ha durant l'an 2020 (production 239 fois plus faible que celle du Canada). Cependant, le rendement surprenant estimé à 824 kg/ha signale une nécessité d'accroissement de la superficie de culture (FAOSTAT, 2022).

6. Composition chimique des lentilles

6.1. Composition globale

Choisies comme l'un des cinq meilleurs aliments-santé au monde, les lentilles constituent un aliment d'un grand intérêt nutritionnel (Min et Shin, 2015), avec comme principal macronutriment, les glucides (60 à 64 %), suivis des protéines (Lombardi-Boccia et al., 2003), des minéraux et des vitamines, les lentilles constituent également une bonne source de fibres alimentaires, et ne contiennent qu'une faible proportion en matières grasses (Tableau 1). La composition chimique des graines de lentilles varie suivant le génotype et la composition du sol de culture (Summerfield et Muehlbauer, 1982).

Tableau 1: Composition chimique des lentilles (Almeida et al., 2000; Candela et al., 200; Wang et al., 2006; Haq et al., 2011; Hefnawy et al., 2011; Rathod et al., 2016).

Constituants	Unités	Teneur
Humidité	(%)	8 – 9
Minéraux	(%)	0,53 - 4,2
Energie	(kcal/ 100 g)	343 – 356
Protéines	(%)	23,86 - 30,4
Lipides	(%)	1 - 3,2
Glucides dont:	(%)	60 – 64
Sucres totaux	(%)	2,03 - 2,86
Amidon	(%)	33,8 - 56,4
Fibres	(%)	6,3 - 35,1

6.2. Protéines et acides aminés

Les principales protéines de lentilles sont la globuline en majeure partie et l'albumine, 90 % d'entre elles sont présentes dans les cotylédons, 4% dans le tégument et 5% dans l'embryon (Singh et al., 1968). La valeur nutritionnelle d'une protéine découle de sa teneur et de son profil en acides aminés. Les principaux acides aminés essentiels des lentilles sont l'arginine, la leucine et la lysine, tandis que les acides aminés non essentiels sont l'acide glutamique, l'acide aspartique et la sérine (Iqbal et al., 2006). Déficitaire en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine), l'apport protéique des lentilles demeure incomplet. Ce facteur limitant peut être comblé par une combinaison légumineuses-céréales, ces derniers trouvent leur complément en lysine et fournissent autant de méthionine et de cystéine aux

Partie théorique Les lentilles alimentaires (*Lens culinaris*): généralités et production

protéines des lentilles. Cette association garantit l'équilibre en acides aminés et améliore la valeur nutritionnelle des protéines (Ouazib et *al.*, 2016).

Tableau 2 : Composition des lentilles en acides aminés (Wang et *al.*, 2006; Hefnawy et *al.*, 2011; Haq et *al.*, 2011).

Acides aminés	Teneur (g/100g)	Acides aminés	Teneur (g/100g)
Histidine	2,2-3,6	Proline	3,6-4,6
Isoleucine	4,1-5,5	Acide aspartique	10,6-13,8
Leucine	6,8-8,7	Serine	3,8-5,3
Lysine	6,3-8,2	Acide glutamique	14,4-22
Méthionine	0,8-1,4	Glycine	3,2-4,8
Phénylalanine	5-6,1	Alanine	3,9-5
Tyrosine	2,3-3	Arginine	6,7-8,8
Threonine	3,4-4,4	Tryptophane	0,6-0,9
Valine	4,7-6,1	Cystine	0,7-1,2

6.3. Eléments minéraux

La lentille fournit une diversité d'éléments minéraux pour compléter les besoins alimentaires des êtres humains, le potassium et le phosphore sont les plus abondants, suivies du magnésium, du calcium et du sodium (Tableau 3). La teneur en fer des lentilles et leur forte consommation dans différentes régions du monde en font une bonne source de fer alimentaire pour de larges groupes de population, notamment les adolescents et les femmes enceintes. Le fer³⁺ peut être réduit en fer plus soluble (fer²⁺) au niveau de l'intestin par l'action de l'acide chlorhydrique gastrique ou par des agents réducteurs, tels que l'acide ascorbique (Quinteros et *al.*, 2001). Les graines de lentilles apportent une quantité suffisante en sélénium, suscitant un grand intérêt en tant que culture cible pour la bio-fortification chez les populations carencées (Thavarajah et *al.*, 2008; Faris et *al.*, 2013).

Tableau3: Composition des lentilles en éléments minéraux (Wang et *al.*, 2006; Hefnawy et *al.*, 2011) .

Eléments Minéraux	Ca	K	Mg	P	Na	Fe	Cu	Zn	Mn	Se
Teneur (mg/100g)	79,7 - 97,3	960 -1055	138	509 -541	78	7,3 -7,9	0,8 -1,3	4 - 4,3	1,9 - 2,4	0,0083

6.4. Glucides

Dans les graines de lentille, le stachyose est le sucre principal formant 35 à 64% du total des sucres libres; le pourcentage de verbascose varie de 17 à 23%, et de raffinose de 6 à 12% (Bhatty, 1988). Les lentilles sont connues pour être une bonne source de prébiotiques (glucides non digestibles), qui ont des effets bénéfiques sur un hôte sain en favorisant la croissance de microbes intestinaux bénéfiques tels que les bifidobactéries (Johnson et al., 2013). Cependant, suite à l'absence de l'enzyme de digestion α 1-6 galactosidase, ces oligosaccharides non hydrolysés passent dans le gros intestin où ils fermentent en anaérobie pour produire du dioxyde de carbone, de l'hydrogène et des traces de méthane responsables des flatulences (Bhatty,1988).

Tableau 4: Teneur en sucres des graines de lentilles (Wang et al., 2006; Wang et al., 2009; Hefnawy et al., 2011) .

Sucres totaux	Teneur (%)
Sucres réducteurs	0,75
Glucose	1,79
Saccharose	1,67–3,19
Raffinose	0,33–0,48
Stachyose	1,66–2,20
Verbascose	0,36–0,74

6.5. Vitamines

La lentille présente une excellente source de vitamines, intervenant dans l'assurance de la sécurité alimentaire et nutritionnelle de millions de personnes, principalement dans les pays en voie de développement. Le tableau 5 dévoile une richesse en antioxydants naturels (vitamines A, E, et C), en acide folique approuvé pour son rôle protecteur contre le cancer colorectal, de prostate, de pancréas, et d'œsophage, et contre l'avortement spontané et l'accouchement prématuré (Aslani et al., 2015). Sa faible teneur en vitamine K élimine le risque chez les patients cardiovasculaires prenant des anticoagulants (Faris et al., 2013).

Tableau 5: Teneur en vitamines des lentilles (Ganesan et Xu, 2017; Faris et al., 2013).

Vitamines	Teneur (%)	Vitamines	Teneur (%)
Vitamine C	3,4-4,5	Vitamine	0,54–0,7
Thiamine (B1)	0,8-0,9	Folate	0,479–0,555
Riboflavine (B2)	0,19-0,21	Vitamine A (RAE)	0,002-0,0025
Niacine (B3)	2,61–3,46	Vitamine E	0,49-0,55
Accide panhotenique (B5)	2,1	Vitamine K	0,0042-0,005

6.6. Composants bioactifs

Divers composés phyto-chimiques sont extraits des graines des lentilles (tableau 6). En tant qu'antioxydants, ces composés sont des piègeurs de radicaux libres, et sont capables d'inhiber la peroxydation lipidique, et d'agir comme des chélateurs d'ions métalliques inducteurs d'oxydation (Bravo, 1998; Shahidi, 2004; de Camargo et *al.*, 2014). Comparées aux pois verts, aux pois jaunes et aux pois chiches, les lentilles renferment une teneur plus élevés en polyphénols et en flavonoïdes totaux lui conférant la plus forte capacité antioxydante (Xu et Chang, 2007; Xu et Chang, 2010). Les composés phénoliques sont principalement constitués de polymères et d'oligomères de proanthocyanidines (tanins condensés), et sont plus abondants et diversifiés dans le tégument de la lentille que dans le cotylédon (Mirali et *al.*, 2014; Oomah, 2011; Kubicka et Troszyńska, 2003; Dueñas et *al.*, 2003). Bien qu'il ne représente que 8 à 11% du poids total de la graine, le tégument de la lentille sert d'antioxydants puissants (Duenas et *al.*, 2006), et pourrait remplacer les antioxydants synthétiques dans les aliments (Moïse et *al.*, 2005). Il est donc fortement recommandé de consommer les lentilles entières.

Tableau 6: Teneur en composants bioactifs des graines de lentilles

Molécules bioactives	Unité	Teneur
Polyphénols ⁽¹⁾	(mg EAG/gl)	4,56-68
Flavonoïdes ⁽¹⁾	(mg EC/gl)	0,66-3,4
Tanins condensés ⁽²⁾	(mgEC/g)	0,189-0,211
Phytates ⁽³⁾	(mg EAp/g)	6,23-8,8
Phytosterols ⁽⁴⁾	(mg EC/gl)	0,23-0,32
Saponines ⁽⁴⁾	(mg/g)	0,34

Sources : (1) : Han et Baik (2008); Amarowicz et *al.* (2010); Swieca et *al.* (2012); Zhang et *al.* (2015); Padhi et *al.*(2016); Xu et Chang (2007); (2) : Xu et Chang (2007); Wang et *al.* (2009); Swieca et *al.* (2012); Zhang et *al.* (2015); (3): Wang et *al.* (2009); Porres et *al.*(2003); (4): Faris et *al.* (2013); Shahwar et *al.*(2017).

7. Lentilles et santé

Approuvée par de nombreuses études, la lentille est considérée comme un aliment fonctionnel prophylactique et thérapeutique en raison de sa teneur considérable en macronutriments essentiels, à savoir des protéines et des glucides fonctionnels, et des micronutriments essentiels, ainsi que des composés phyto-chimiques bioactifs qui se sont

Partie théorique Les lentilles alimentaires (*Lens culinaris*): généralités et production

révélés prometteurs dans la gestion et la prévention de plusieurs maladies chroniques humaines (Faris et *al.*, 2013) (Tableau 7).

La consommation des lentilles favorise la gestion du diabète de type 2, par avantage de leur faible indice glycémique induit par l'hydrolyse long de leur amidon, (Brand-Miller et *al.*, 2003). Ses propriétés rassasiantes réduisent la consommation alimentaire et le risque d'obésité.

Dépourvue de gluten, elle constitue un bon choix pour développer des aliments de spécialité pour les patients cœliaques. Les lentilles devraient donc être incluses dans le régime alimentaire en raison de leurs effets bénéfiques potentiels sur la santé (Alshikh et *al.*, 2015). Les effets bénéfiques des composants des lentilles sur la santé humaine sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7: Effets bénéfiques des composants des lentilles sur la santé humaine (Berger et *al.*, 2004; Faris et *al.*, 2013; Rochfort et Panozzo, 2007; Roleira et *al.*, 2015; Garcia-Mora et *al.*, 2014; Galleano et *al.*, 2010; Lombardi-Boccia et *al.*, 2003; Lima et *al.*, 2016).

Effet bénéfique sur la santé	Composants responsables
Anti-inflammatoire	Phytostéroles
Antibiotique	Défensine
Antioxydant	Phytostéroles, caroténoïdes, tocophérols composés phénoliques hydrophiles, phytates et saponines.
Anticancéreux (colon, sein et prostate)	Polyphénols hydrophiles, phytostéroles, phytates et saponines, fibres solubles et insolubles, défensine
Bifidogénique	Amidon résistant et oligosaccharides (raffinose)
Laxative	Les fibres insolubles
Hypocholestérolhémique hypolipidémique	Phytostéroles, les saponines, les fibres solubles et insolubles
hypoglycémique	Amidon résistant, fibres insolubles
Cardioprotecteur	Légumine, viciline et convicine (inhibiteur de l'ECA)
Préviennent l'anémie ferriprive	Les fibres solubles Le fer

Chapitre II.

Facteurs

antinutritionnels et

traitements

Chapitre II. Facteurs antinutritionnels et traitements

1. Facteurs antinutritionnels

Les facteurs antinutritionnels présents dans les matières végétales comprennent les saponines, les tanins, les phytates, les composés polyphénoliques et les inhibiteurs de protéase. Ces composants interfèrent avec la valeur nutritionnelle des aliments en réduisant l'absorption des minéraux, la digestibilité des protéines et en provoquant une toxicité et des troubles de santé lorsqu'ils sont présents à des concentrations élevées. De nos jours, plusieurs stratégies sont utilisées pour surmonter les effets de ces anti-nutriments alimentaires, et améliorer la valeur nutritive des aliments.

1.1. Acide phytique

L'acide phytique est un ester formé par la combinaison des 6 groupes alcooliques de l'inositol avec 6 molécules d'acide hexa phosphorique, d'où son nom d'acide hexaphosphorique inositol (Figure 5). Il est considéré comme la principale source de phosphore dans de nombreux tissus ou organes végétaux, en particulier dans les graines (Reddy et *al.*, 1989; Lolos, 1976; García-Esteba et *al.*, 1999; Ramteke, 2019). Pendant la germination, les phytates sont hydrolysés et le phosphate et d'autres minéraux deviennent disponibles pour la germination et le développement des semis (Lo et *al.*, 2018). Le phytate s'accumule au cours du développement des graines et atteint son niveau le plus élevé à maturité (plus de 10% de la matière sèche) (Huisman et *al.*, 1998; Lo et *al.*, 2018)

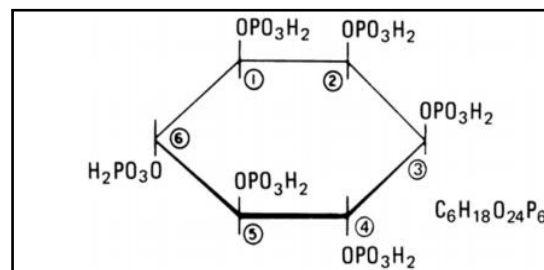


Figure 5 : Structure moléculaire des phytates (Sathe et Venkatachalam, 2001).

Principalement en raison de son pouvoir chélateur, l'acide phytique est considéré comme facteur antinutritionnel dans les aliments. En conséquence de sa forte capacité à complexer les ions métalliques multichargés (Zn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} et Fe^{3+}) (Harland et Oberkas, 1987), la consommation d'aliments contenant des niveaux élevés d'acide phytique pourrait entraîner un déficit d'absorption de certains minéraux chez les humains (Bora, 2014; Reddy et Pierson, 1994). L'acide phytique peut également former un complexe avec des groupes

d'acides aminés constituant les protéines, réduisant ainsi leur digestibilité et biodisponibilité. De plus, il se lie à l'amidon entraînant une diminution de sa solubilité et de sa digestibilité par les enzymes amylolytiques. L'activité enzymatique de la pepsine, la trypsine et l'alpha-amylase dégradant les protéines dans l'intestin grêle et l'estomac est entravée par l'acide phytique (Kies et *al.*, 2006).

La plus grande proportion de phytate se trouve dans les cotylédons des légumineuses. Par conséquent, le décorticage n'entraîne pas beaucoup de réduction de la teneur en phytates. Les phytates dans les aliments peuvent être réduits par hydrolyse enzymatique, lessivage ou dégradations thermiques (Sathe et Venkatachalam, 2002).

1.2. Tanins

Les tanins ou proanthocyanidines sont des composés phénoliques présents principalement dans les téguments des légumineuses, elles jouent un rôle dans le système défensif des plantes notamment dans la protection contre les pathogènes microbiens, les insectes ravageurs et les grands herbivores (Kubicka et Troszyńska, 2003; Troszynska et Ciska, 2002). Les tanins sont chimiquement structurés comme un groupe hydroxyle lié à un cycle aromatique avec des poids moléculaires supérieurs entre 500 et 30000 Da. La teneur en tanin des légumineuses varie de 2000 mg/100 g pour les fèves à 45 mg/100 g pour le soja (Irvin, 1994).

Les tanins sont produits par condensation de composés phénoliques simples et ont une variété de structures moléculaires. Ils sont généralement divisés en proanthocyanidines hydrolysables et condensées (Haslam, 1989) (Figure 6). Les formes hydrolysables sont facilement hydrolysées par les acides, les alcalis et certaines enzymes, tandis que les tanins condensés sont résistants à l'hydrolyse. Les deux types diffèrent par leurs effets nutritionnels et toxiques. Les tanins condensés ont un effet réducteur de digestibilité plus prononcé que les tanins hydrolysables (Matham, 2011).

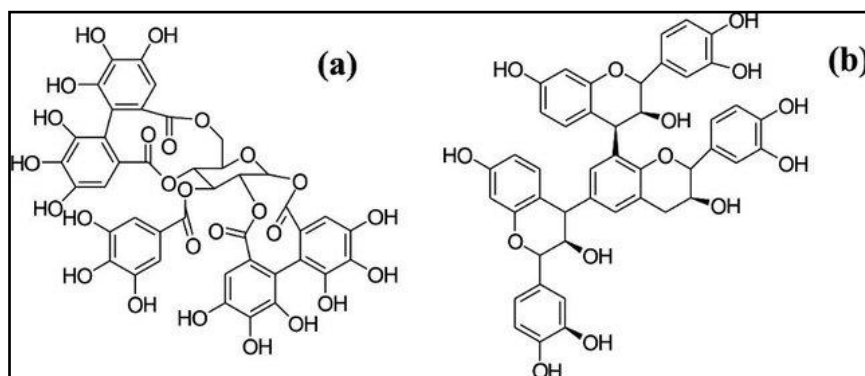


Figure 6: Structure moléculaire des tanins condensés (a), et des tanins hydrolysables (b) (Bayart, 2019).

De nombreux auteurs rapportent une large présence des tanins condensés dans les lentilles, les pois, le soja coloré et le haricot (Vidal-Valverde et *al.*, 1994; Troszynska et Ciska, 2002; Beninger et Hosfield, 2003).

Les complexes tanins-protéines sont responsables d'une faible digestibilité des protéines, d'une diminution de la disponibilité des acides aminés, d'une faible appétence et d'un taux de croissance réduit (Nitin, 2020). Il a été rapporté que les tanins condensés inhibent la trypsine, la lipase et l' α -amylase, ce qui peut diminuer l'absorption des protéines, des lipides et des glucides, respectivement (Joye, 2019). En revanche, les complexes tanins-protéines sont astringents et affectent négativement la prise alimentaire (Patel et *al.*, 2013). D'autres effets antinutritionnels qui ont été attribués aux tanins comprennent des dommages à la muqueuse intestinale et une interférence avec l'absorption du fer, de la vitamine B12 et du glucose (Liener, 1994). La plupart des tanins sont situés dans le tégument des légumineuses, l'élimination du tégument par décorticage ou broyage et séparation des coques diminue la teneur en tanin des légumineuses et améliore leur qualité nutritionnelle (Pal et *al.*, 2017).

1.3. Inhibiteurs de protéase

Les inhibiteurs de protéase sont des péptides végétales présentes dans les graines de légumineuses crues (Vagadia et *al.*, 2017). Ils inhibent l'activité catalytique des enzymes en bloquant leur site actif (Otlewski et *al.*, 2005). L'inhibiteur de Kunitz (inhibe uniquement la trypsine) et l'inhibiteur de Bowman-birk (inhibe la trypsine et la chymotrypsine) sont deux types d'inhibiteurs de la protéase (Van Der Ven et *al.*, 2005; Ramteke, 2019). Selon (Bajpai et *al.*, 2005; Giri et Kachale, 2004; Sinha, 2017) les inhibiteurs de la trypsine se lient de manière irréversible à la trypsine dans le tube digestif, les rendant incapables de dégrader les protéines. Cela pourrait entraîner une faible biodisponibilité des acides aminés et des minéraux ainsi qu'une réduction de l'absorption et de la digestibilité des nutriments, une dépression de la croissance et du fonctionnement du pancréas (Aletor et Fetuga, 1987). En raison de leur nature protéique, la plupart des inhibiteurs de protéase végétale sont détruits par la chaleur, assurant l'amélioration de la valeur nutritive des protéines (Liener, 1962).

1.4. Saponines

Les saponines sont des métabolites secondaires présents dans les légumineuses (Price et *al.*, 1987), contenant une fraction glucidique (mono/oligosaccharide) attachée à un aglycone, qui peut être de structure stéroïdienne ou triterpénoïde (Figure 7) (Kataria et *al.*, 1988; Jain et *al.*, 2009; Fenwick et *al.*, 1991; Moses et *al.*, 2014). Elles sont produites par

l'immunité innée en tant que mécanisme de défense des plantes. Les saponines présentes dans les légumineuses telles que les lentilles sont des composés phytochimiques qui ont longtemps été considérés comme indésirables en raison de leur toxicité et de leur activité hémolytique. (Johnson *et al.*, 1986; Fleck *et al.*, 2019).

Des études antérieures ont montré que les saponines possèdent des activités inhibitrices des enzymes digestives telles que l'amylase, la glucosidase, la trypsine, la chymotrypsine et la lipase, qui peuvent provoquer des troubles de santé liés à l'indigestion (Ercan et El, 2016). Les saponines réduisent l'absorption des vitamines et peuvent se lier à des minéraux comme le fer, le calcium, le magnésium ou le zinc et entraver leur absorption (Cheeke, 1971). Ils réduisent également l'absorption de certains nutriments, dont le glucose et le cholestérol. Par conséquent, il a été signalé qu'il avait des effets hypocholestérolémiques, cela semble être bénéfique pour réduire le risque des maladies cardiaques et l'inhibition du cancer du côlon (Esenwah et Ikenebomeh, 2008). Les saponines sont responsables au goût sucré et à l'amertume, aux propriétés moussantes et émulsifiantes de l'aliment (Güçlü-Üstündağ et Mazza, 2007).

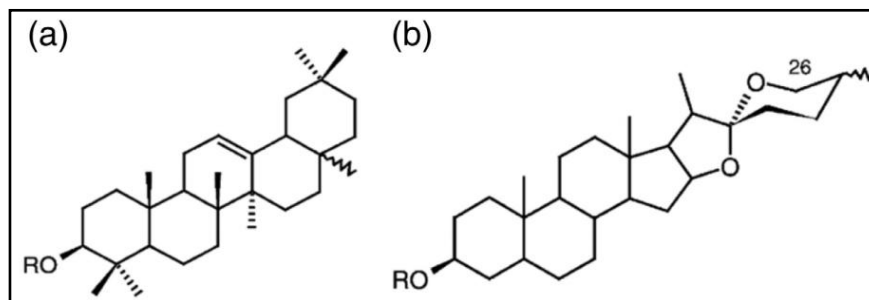


Figure 7 :Structures aglycones des saponines triterpénoïdes

(a) et stéroïdienne (b) (Sparg *et al.*,2004)

Les saponines des lentilles se sont avérées plus élevées dans le macrosperme à tégument vert et beige. Le décorticage, le trempage, la germination et la cuisson aident à réduire la teneur en saponine des légumineuses (Jain *et al.*, 2009; Kataria *et al.*, 1988; Kataria *et al.*, 1989), des lavages répétés à l'eau rendent l'aliment plus agréable au goût en réduisant l'amertume associée aux saponines (Lo *et al.*, 2018).

1.5. Lécithine

Les lectines sont des glycoprotéines largement distribuées dans les légumineuses comme les lentilles (phytohémagglutinines) (Jindel *et al.*, 1982). Elles peuvent se lier aux fractions glucidiques à la surface des érythrocytes provoquant leur agglutination (Irvin,1994;

Sinha, 2017). Les lectines réduisent l'absorption des nutriments en se liant à la muqueuse intestinale et en provoquant des lésions épithéliales de l'intestin (Ramtek, 2019), cela permet à la population bactérienne d'entrer en contact avec la circulation sanguine (Muramoto, 2017). Les lectines empêchent l'absorption des produits digestifs finaux dans l'intestin grêle. Ils peuvent également être considérés comme une métalloprotéine en raison de leur site de haute affinité pour le Mn^{2+} (Krupa, 2008). Bien que de nombreuses lectines soient résistantes à l'inactivation par la chaleur sèche (thermolabile), et nécessitant la présence d'humidité pour une destruction plus complète (Giri et Kachole, 2004), un trempage préalable à l'autoclavage ou à la cuisson est nécessaire pour une élimination complète de la toxicité des lectines (Kute *et al.*, 1984; Jain *et al.*, 2009).

1.6. Alpha-galactooligosides (α -GOS).

Egalement connus sous le nom d'oligosaccharides de la famille du raffinose et α -galactosides, sont des sucres non réducteurs hydrosolubles à faible masse molaire. Les principaux oligosides présents dans les légumineuses sont le raffinose, le stachyose et le verbascose (Figure 8).

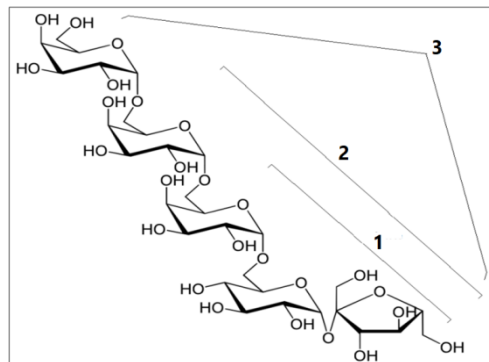


Figure 08 : Structure moléculaire des sucres impliqués dans les flatulences, (1) raffinose, (2) stachyose, (3) verbascose.

Ces composés sont des α (1 \rightarrow 6) galactosides liés au C-6 d'une molécule de saccharose (Martínez-Villaluenga *et al.*, 2008). Ces oligosides ne sont pas hydrolysés dans le tractus intestinal humain, due à l'absence d' α -galactosidases et par conséquent ne sont pas absorbables par la muqueuse intestinale. ils seront fermentés par la flore bactérienne colique (probiotiques), produisant les gaz responsables de flatulence (hydrogène, méthane et dioxyde de carbone) (Rackis, 1974). Diverses approches sont suggérées afin de diminuer ces facteurs causant les flatulences, tel que le trempage, la cuisson (Reddy et Salunkhe, 1980) et la germination (Gupta et Wagle, 1980).

2. Traitements réduisant les facteurs antinutritionnels (FAN)

Selon les techniques et les conditions, y compris le temps, la température et la teneur en humidité, les méthodes de transformation améliorent la valeur nutritive des légumineuses, en éliminant et/ou diminuant les facteurs antinutritionnels jusqu'à une limite tolérable. Différentes méthodes traditionnelles ou technologiques telles que le trempage, la mouture, le décorticage, la torréfaction, la cuisson, la germination et la fermentation sont adoptées pour réduire ces composants anti-nutritionnels dans les aliments, et améliorer la biodisponibilité des protéines et des minéraux.

2.1. Traitements physiques

▪ Le décorticage

Les tanins sont principalement concentrés dans le tégument des graines, le décorticage préalable constitue la méthode la plus simple pour leur élimination. Néanmoins, ce procédé n'élimine pas les facteurs antinutritionnels thermolabiles (inhibiteurs de protéases, GOS et lectines) (Embaby, 2010).

▪ La mouture

La mouture est un processus par lequel les grains sont broyés en farine. Cette technique élimine les anti-nutriments présents dans le son des grains (l'acide phytique, les lectines et les tanins), mais induit également l'élimination de certains minéraux essentiels (Gupta et *al.*, 2015).

▪ Le trempage

Le trempage des graines avant la cuisson est une pratique domestique courante, elle est utilisée pour adoucir la texture et accélérer le processus de cuisson. Le trempage pourrait être l'un des processus éliminant les facteurs antinutritionnels hydrosolubles par lessivage (Vidal-Valverde et *al.*, 1992). C'est une méthode permettant d'améliorer la libération d'enzymes (les phytases endogènes) dégradant les phytates présents dans les grains. La réduction du niveau des phytates pourra améliorer la solubilité *in vitro* des minéraux comme le zinc et le fer (Vashishth et *al.*, 2017). Le trempage fournit l'humidité nécessaire à la germination des graines et aux réductions du niveau d'inhibiteurs enzymatiques (Kumari, 2018). Le lessivage des tanins augmente à son tour avec le temps de trempage dans l'eau distillée (Jood et *al.*, 1988; Kataria et Chauhan, 1988).

Le trempage des graines peut être réalisé dans l'eau seule, ou dans des solutions acides ou alcalines (acide citrique ou bicarbonate de sodium) pour une période allant parfois de 2 à 72 h (Ertaş et Türker, 2014). Les graines des lentilles trempées pendant 24 h dans de

l'eau distillée perd 58 à 66 % de l'activité inhibitrice de la trypsine (Batra et *al.*,1986). Le trempage des graines de haricots et des fèves dans une solution acide ou alcaline entraîne la lixivation d'une quantité importante d'inhibiteurs de la trypsine (Fernandez et *al.*,1996).

2.2. Traitements thermiques

▪ La cuisson

De nombreux auteurs affirment la réduction des facteurs antinutritionnels dans les légumineuses après cuisson (Rehman et Shah 2005; wang, 2009; Hefnawy, 2011; Maphosa et Jideani, 2017). Les graines des légumes secs peuvent être cuites dans l'eau bouillante, à la vapeur, sous haute pression et au micro-ondes.

➤ Cuisson à l'eau bouillante

C'est la méthode la plus courante pour améliorer l'acceptabilité, la texture et la valeur nutritionnelle des légumineuses (Yeo et Shahidi, 2017). les niveaux des inhibiteurs de trypsine et des des phytates des haricots (Kadam et Smithard 1987), du pois chiche (Marquez et Alonson, 1999), des lentilles (Hefnawy, 2011; Vijayakumari et *al.*, 1998; Wang et *al.*, 2009) sont significativement réduits par cuisson. Les activités de l'hémagglutinine, des tannins et des saponines sont également annulées par cuisson en raison de leur thermosensibilité (Sharma et Sehgal, 1992).

➤ Cuisson au micro-onde

La cuisson au micro-ondes diffère du traitement ordinaire de cuisson car elle est réalisée au moyen d'ondes électromagnétiques, qui pénètrent profondément et chauffent rapidement. Néanmoins, cette méthode de chauffage n'est pas uniforme dans les graines et des taches de brunissement indésirables sont produites (Rosen, 1972; Hernandez-Infante et *al.*, 1998). La cuisson au micro-ondes a été appliquée pour éliminer la saveur désagréable des graines de soja et détruire les inhibiteurs de la trypsine (Pour et *al.*, 1981; Yoshida, 1988). Hefnawy (2011) rapporte que les pertes en minéraux dans les lentilles cuites au micro-ondes étaient plus faibles que celles cuites à l'ébullition et à l'autoclave.

➤ Autoclavage

L'autoclavage est une méthode de cuisson sous pression. De nombreux aliments ont montré des avantages pour la santé lorsqu'ils sont consommés après autoclavage. Ce traitement thermique contribue à l'amélioration de la digestibilité des protéines par la réduction de la teneur en tanins (Shah, 2001). Il réduit également l'acide phytique et la saponine dans les lentilles (Elhardallou et Walker, 1994) et active la phytase (Ertop et Bektaş, 2018).

▪ Extrusion

L'extrusion est l'une des technologies de traitement les plus polyvalentes et les plus réussies sur le plan commercial, avec ses applications étendues dans la production de pâtes, de collations, de craquelins et de substituts de viande (Leonard, 2019). L'extrusion alimentaire est un processus dans lequel un matériau est forcé de s'écouler à travers une filière (trou en forme) dans différentes conditions thermiques et mécaniques combinées, et à une vitesse prédéterminée pour fabriquer une variété de produits, l'ensemble du processus est continu et peut se dérouler en moins d'une minute (Alam et *al.*, 2016).

Divers auteurs soulignent que la technologie d'extrusion améliore la qualité et la digestibilité des protéines des extrudats à base de légumineuses (Cotacallapa-Sucapuca, 2021).

Alonso et *al.*(1998), et Rathod et Annapure (2016) rapportent que la cuisson par extrusion réduit les niveaux d'acide phytique, de tanins condensés et des inhibiteurs de trypsine, chymotrypsine, α -amylase et d'hémaggluténine dans les lentilles et dans d'autres légumineuses. La digestibilité *in vitro* des protéines et de l'amidon des lentilles témoigne également une réduction.

▪ Torrification

La torrification est une technique de déshydratation qui consiste en l'application directe de chaleur sèche sur un produit alimentaire pendant un temps donné. La chaleur provient d'un four, d'un brûleur à charbon ou directement d'une flamme. la température appliquée est variable suivant le produit et l'appareil utilisé (Mateos et *al.*, 2002).

La torrification est impliquée dans les industries agroalimentaires pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle, sensorielle et l'aptitude au stockage de l'aliment; c'est un procédé fréquent et essentiel au cours de la transformation des noix et graines qui permet de relever leurs arômes; elle améliore la biodisponibilité des nutriments; les enzymes favorisant la détérioration du produit au cours du stockage sont inactivées et les microorganismes indésirables sont détruits (Yaacoub, 2009).

Plusieurs études rapportent que la torrification a considérablement abaissé le niveau des inhibiteurs de trypsine dans les légumineuses (Omoruyi et *al.*, 2007; Sampathkumar, 2011), et d'acide phytique dans le haricot sec torréfié, le pois chiche, le niébé et le haricot noir, améliorant ainsi la disponibilité de leurs protéines (Tabekhia et Luh, 1980; Sievwright

et Shipe, 1986; Jain et Panwar, 2009). Selon Mateos *et al.*(2003) la dénaturation des facteurs antinutritionnels sous l'effet de la chaleur induit leur inactivation. Cependant, sous l'action de la chaleur, les molécules protéiques peuvent se dégrader en acides aminés, qui peuvent réagir dans d'autres réactions entraînant une baisse de leur qualité nutritionnelle. Les lipides s'oxydent, et les vitamines subissent aussi des dégradations oxydatives. L'ensemble de ces réactions affecte significativement les qualités nutritionnelles et organoleptiques du produit fini (Yaacoub, 2009). De ce fait, il est hautement recommandé de contrôler la température et le temps du procédé à fin de maîtriser la qualité des produits torréfiés.

2.3. Traitements biochimiques

▪ Fermentation

La fermentation est un processus métabolique dans lequel les sucres fermentescibles sont oxydés par certains microorganismes pour produire de l'énergie. La fermentation fournit des conditions de pH optimales pour la dégradation enzymatique du phytate, elle diminue la teneur en acide phytique et libère du fer, du zinc et du calcium solubles et améliore ainsi l'absorption des minéraux (Abdel Rahman *et al.*, 2005; Gupta *et al.*, 2015). Les niveaux de tanin peuvent être réduits à la suite de la fermentation de l'acide lactique (Montet et ray, 2014). La fermentation augmente la teneur en composés phénoliques bioactifs dans les légumineuses, renforçant ainsi leur activité antioxydante (Fernandez-Orozco *et al.*, 2007; Lee, Hung et Chou, 2008).

▪ Germination

La germination est un processus économique, peu coûteux fournissant une source de composés bioactifs responsables à l'activité antioxydante puissante chez les légumineuses germées (Swieca *et al.*, 2012). Les graines germées sont caractérisées par des teneurs plus élevées en acides aminés, en vitamines et en minéraux (Vidal-Valverde *et al.*, 2002; Kuo *et al.*, 2004), et des niveaux inférieurs de FAN (Rodriguez *et al.*, 2008). Selon Gloria Urbano (2005), la germination induit la dégradation de certains anti-nutriments thermostables (phytates et oligosaccharides), elle active la phytase dégradant l'acide phytique et fournit le phosphore inorganique nécessaire au développement du semis (Reddy *et al.*, 1978; Kaukovirta-Norja *et al.*, 2004). La perte de tanins pendant la germination peut être attribuée à l'hydrolyse enzymatique par la polyphénol oxydase (Rao et Deosthale, 1982), celle des saponines s'accroît avec la période de germination (Jood *et al.*, 1988, Kataria et Chauhan, 1988).

De nombreux auteurs signalent en outre la réduction des inhibiteurs de trypsine, et des hémagglutinines dans la lentille et dans d'autres légumes secs après 1 à 6 jours de germination (Vidal-Valverde et *al.*, 1994; Frias et *al.*, 1995; Osman, 2007).

Chapitre III.

Incorporation des légumineuses dans la fabrication du biscuit

Chapitres III. Incorporation des légumineuses dans la fabrication du biscuit.

1. Le biscuit

1.1. Présentation

Les biscuits sont des produits mondialement appréciés par différentes catégories de consommateurs (Caleja et *al.*, 2017; Bassinello et *al.*, 2011), en raison de leur disponibilité, de leur commodité prête à manger et de leur bonne durée de conservation (très faible activité d'eau) (Temitope et *al.*, 2020). Elles peuvent être produites en grande quantité avec un minimum de temps et permettent une distribution très large (Rebellato et *al.*, 2015; Cheng et Bhat, 2016).

1.2. Définitions

Le mot biscuit dérive du mot latin «panis biscoctus» qui signifiait le pain cuit deux fois (Arepally et *al.*, 2020). Les galettes sortant d'une première cuisson, passent au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (Gallagher, 2008).

1.3. Ingrédients de formulations de biscuit et leurs effets

Le biscuit se compose d'ingrédients majeurs qui sont la farine, la graisse ou l'huile, le sucre, l'eau, et les levures chimiques. Le sel, l'œuf, l'émulsifiant, le lait en poudre et les composés aromatisants servent d'ingrédients facultatifs (Zucco et *al.*, 2011; Mancebo et *al.*, 2015), ces ingrédients affectent la qualité du produit final (O'Brien et *al.*, 2003).

- **La farine**

La farine de blé fournit une matrice dans laquelle les autres ingrédients sont mélangés pour former la pâte (Gutkoski et *al.*, 2007; Rebelle, 2015). L'utilisation de la farine de blé dans la préparation de la pâte à biscuits est liée à sa capacité à retenir le gaz, ses composants protéiques forment un réseau élastique piégeant les gaz et développant une structure ferme et mietteuse pendant la cuisson (Abdel-Aal et Gallagher, 2009). Sa teneur élevée dans la pâte réduit l'extensibilité (Saha et *al.*, 2011). Le remplacement de la farine de blé par d'autres farines affecte la rhéologie de la pâte en raison de la variation de la teneur en protéines (Maache-Rezzoug et *al.*, 1998). Une faible teneur en protéines de la farine de blé tendre (8 à 11 %) est idéale pour la préparation des biscuits, car le gluten doit former un réseau minimal pour le laminage et la formation souhaitables de la pâte à biscuits. (Arepally et *al.*, 2020).

L'étalement élevé du biscuit est associé à une granulométrie plus fine de la farine (Mancebo et *al.*, 2015). La granulométrie moyenne de la farine utilisée pour la fabrication des biscuits est d'environ 50 μm (Manley, 2011).

- **L'eau**

Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants du mélange pour la réalisation des réactions chimiques, et assure la dissolution des composés solubles (Ndangui, 2015). L'humidité de la farine et la quantité d'eau utilisée pour la fabrication de la pâte à biscuit affectent sensiblement la texture et les propriétés mécaniques du produit final (Pareyt et Delcour, 2008). Un taux d'humidité élevé de la farine augmente l'écoulement de la pâte, l'adhérence et le diamètre des biscuits (Gaines et *al.*, 1982). Brenan et *al.* (1974) enregistre une augmentation de la déformation à la rupture à une teneur en eau d'environ 4 à 5 % du biscuit.

- **La matière grasse**

Le biscuit dépend principalement de la graisse pour la tendreté et la sensation en bouche. Lors du mélange, la graisse inhibe l'hydratation et le développement du gluten (lubrifiant). Elle assure également l'aération et l'étalement de la pâte par l'inhibition du pouvoir levant de la diffusion du CO_2 dans la pâte, en formant une couche d'enrobage autour des particules de farine (Arepally et *al.*, 2020).

- **Le sucre**

En plus de sa douceur, il agit comme une substance structurale, de modification et d'amélioration de la saveur. Le saccharose est couramment utilisé dans la cuisson des biscuits (Van der Sman et Renzetti, 2019). Le sucre se dissout totalement ou partiellement dans la pâte à biscuits, selon la disponibilité de l'eau, puis recristallise après cuisson. Pendant la cuisson, les cristaux de sucre non dissous fondent progressivement, ce qui entraîne l'étalement de la pâte et offre la texture croustillante et croquante au biscuit (Hoseney, 1994).

- **Les levures**

Leur incorporation dans les recettes produit les gaz levants qui sont responsables du développement de la texture dans un biscuit pendant la cuisson. La levure chimique (le bicarbonate d'ammonium, le pyrophosphate de sodium, et le bicarbonate de sodium) sont les plus employées comme agents levants chimiques. Lors du chauffage, le bicarbonate d'ammonium se décompose et produit du dioxyde de carbone, de l'ammoniac et de l'eau (Arepally et *al.*, 2020).

- **Ingrédients supplémentaires**

Divers ingrédients mineurs sont incorporés dans la pâte à biscuit pour améliorer les propriétés physiques et les qualités gustatives: les émulsifiants, le sel et les levures de boulangerie (Chauhan et *al.*, 2015).

- **Les émulsifiants**

la lécithine est couramment utilisée dans différents types de biscuits. Elle est généralement dissoute dans la graisse avant d'être ajouté au mélange, en vue d'améliorer la dispersion de la matière grasse dans la pâte semi-sucrée, et de favoriser l'émulsification lors du crémage dans les pâtes brisées (Manley., 2011).

- **Le sel**

Selon le poids de la farine, la concentration en sel varie de 2 à 2,5 %, il donne un goût satisfaisant, et apparaît également à la surface des biscuits salés pour la décoration (Moreira et *al.*, 2011). Le sel durcit le gluten, augmente la consistance de la pâte en la rendant malléable et ralentit la fermentation et la réaction de Maillard. En outre, il favorise la formation de croûte (Arepally et *al.*, 2020).

1.4. Processus de fabrication des biscuits

Divers modes de fabrication sont employés en industrie de biscuit. Par ailleurs, La fabrication de biscuits secs repose essentiellement sur cinq grandes étapes qui sont : le mixage, mise en forme, cuisson, refroidissement et conditionnement (Figure 9).

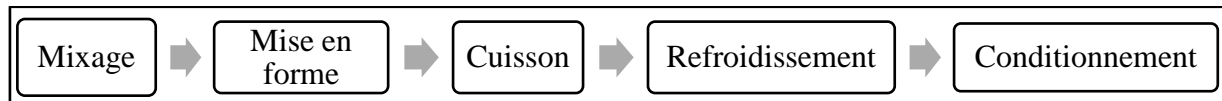


Figure 09 : Etapes de fabrication des biscuits (Yadav et *al.*, 2012; Denis, 2011)

2. Biscuit enrichi en légumineuses

2.1. Complémentation céréales-légumineuse

En boulangerie traditionnelle, les légumineuses ont été reconnues comme source importante de complémentation des produits céréaliers tels que les biscuits et le pain (Patel et Rao, 1995). La composition en acides aminés des légumineuses est complémentaire à celle des céréales (Boye et *al.*, 2010). Déficitaires en acides aminés soufrés, les légumes secs trouvent une compensation en méthionine et cystéine dans les protéines des céréales, celles-ci trouvent de retour un complément en lysine chez les protéines des légumineuses qui en sont riches (Moussou, 2011). En revanche, l'incorporation de grains entiers augmente le profil nutritionnel des produits par leur richesse en oligo-éléments, en fibres, et en antioxydants (Aggarwal et *al.*, 2016).

2.2. Produits de biscuiterie enrichis en légumineuses

De nombreuses recherches affirment l'amélioration de la valeur nutritive des biscuits en incorporant des protéines de légumineuses comme les pois chiches, (Hegazy et Faheid, 1991; Zucco *et al.*, 2011; Chung *et al.*, 2014), les haricots accompagnés de farine de riz (Bassinello *et al.*, 2011), la farine de fèves ou protéines de soja isolées (Rababah *et al.*, 2006; Tiwari *et al.*, 2011). Le tableau 8 regroupe quelques exemples de biscuit enrichis de légumineuses.

Tableau 8 : Exemples de biscuit enrichis de légumineuses et de biscuits sans gluten.

légumes secs / taux d'incorporation	Impact sur le produit fini	Type de biscuit
Haricots blancs, haricots pinto, lentilles vertes, pois jaunes (25, 50, 75, 100%) ⁽¹⁾	Taux de protéines plus élevé, activité antioxydante accrue, caractéristiques physiques acceptables	BSG et BE
Pois chiche, lentille verte et rouge, pois jaune, haricot blanc (100%) ⁽²⁾	Couleur claire, bonne saveur et une texture croustillante.	BSG
Pois chiche, Haricot (3,6,9 et 12%) ⁽³⁾	Teneur accrue en protéines	BE
Riz /sarrasin (90/10, 80/20 et 70/30) ⁽⁴⁾	Plus de protéines bonne saveur et mastication, structure cohésive	BSG
Sous-produits du riz et des haricots (graines de riz et d'haricots clasées) ⁽⁵⁾	augmentation de la teneur en vitamine B absence de tanin et de phytates	BSG

Sources : (1) : Zucco *et al.*, 2011; (2) : Han *et al.*, 2010; (3) : Rababah *et al.*, 2006; (4) : Torbica *et al.*, 2012; (5) : Bassinello *et al.*, 2011; **BE** :Biscuit enrichi formé de farine de blé et d'autre légums secs ; **BSG** :Biscuit sans gluten.

2.3. Incorporation des lentilles dans différentes formulations

Différents travaux d'incorporation des lentilles dans la fabrication de nouveaux produits ont été rapportés ces dernières années, le Tableau 09 présente quelques produits innovants à base de farine de lentilles, leur contenu et leur effet sur les qualités nutritives et/ou organoleptique du produit fini.

Tableau 09 : Produits innovants à base de farine de lentilles

Produit	Contenu	Effet
Pain ⁽¹⁾	Pain mixte: fermentation de la farine de lentilles et de la levure	Activité élevée en phytase et en antioxydants
Cake ⁽²⁾	cake en ajoutant de la FL	Antihypertenseur naturel
Pasta ⁽³⁾	pâtes précuites	Valeur nutritive améliorée
Noodles ⁽⁴⁾	nouilles extrudées	Excellente texture
Flakes ⁽⁵⁾	Flocons de lentilles	Riches en protéines, en fibres et en fer

Sources : (1) : Rizzello et *al.*, 2014; (2) : Lu , 2014; (3) : Wójtowicz et Moscicki, 2014; (4) : Wang et *al.*, 2014; (5) : Gun'kin et Suslyanok, 2014.

3. Biscuit sans gluten

La maladie coeliaque est une intolérance permanente aux protéines de gluten de nombreuses céréales courantes telles que le blé, le seigle, l'orge et l'avoine. Elle se caractérise par une atrophie villositaire et une inflammation de l'intestin grêle ce qui provoque des lésions de la muqueuse et une malabsorption généralisée des nutriments (Sapone et *al.*, 2012). Par conséquent, il est recommandé aux patients atteints de maladie coeliaque de suivre un régime sans gluten strict de longue durée, qui manque généralement de certains nutriments essentiels (Caponio et *al.*, 2008; Noya et *al.*, 2018; da Silva et Conti-Silva, 2018).

3.1. Intéret chez les personnes scealiaques

L'exigence en produits sans gluten augmente dans le monde (Arendt et Dal Bello, 2008; Mariotti et *al.*, 2009). Face à cette demande, le fait que les légumineuses en plus d'être riches en nutriments, soient sans gluten offrent des opportunités importantes pour l'utilisation des farines de légumineuses dans différents systèmes alimentaires (Intel, 2008; Han et *al.*, 2010; Zucco et *al.*, 2011).

Plusieurs chercheurs ont rapporté des études sur différentes farines comme les mélanges multigrains (Kumar et *al.*, 2016), la farine de riz (Mancebo et *al.*, 2016), les mélanges de farine de millet ou de pois cajan (Eneche, 1999), la farine d'avoine (Duta et Culetu, 2015), la farine de soja et de manioc, et la farine d'amarante pour l'élaboration de biscuits sans gluten, riches en protéines, en minéraux et en fibres (Akubor et Ukwuru, 2003). En revanche, il est nécessaire de signaler que la texture des biscuits dépend principalement du sucre et de la matière grasse pour assurer le croustillant et la friabilité. Il est donc facile de fabriquer un biscuit sans gluten (Chen et *al.*, 2020).

De ce fait, il existe un vaste champ d'amélioration de la qualité nutritionnelle du biscuit pour répondre à l'énorme demande des consommateurs cherchant des biscuits contenant des ingrédients plus sains, plus nutritifs et savoureux.

PARTIE
EXPERIMENTALE

Étude I.

Consommation des

légumineuses en

Algérie. Enquête sur

l'état des lieux

Etude I. Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux

1. Intérêt de l'enquête

Le but de cette enquête était d'établir un état des lieux sur la consommation des légumineuses en Algérie. Elle dévoile d'une part les habitudes d'achats, de préparation et de consommation des mets à base de légumineuses, et démontre d'autres part les causes de rejet et contraintes de leur consommation, et cela en vue de construire une démarche visant l'encouragement de leur consommation chez l'Algérien.

2. Préparation du questionnaire

Un questionnaire adapté aux objectifs de l'enquête a été élaboré pour servir d'outil de recherche, de communication, et de collecte des données relatives aux réponses des enquêtés. Le questionnaire (Annexe 26) comporte trois parties:

- La première partie nous informe sur le profil des enquêtés à savoir le sexe, l'âge, la région, le niveau d'étude, le statut matrimonial, et le type de régime.
- La deuxième partie s'intéresse aux diverses habitudes, les expériences et fréquences d'achat des légumineuses, et les connaissances des enquêtés sur leurs bienfaits.
- La troisième partie concerne la fréquence de consommation saisonnière, le type de légumineuse, le mode de préparation et de consommation, les causes de rejet de consommation, leur classe parmi les grands groupes d'aliments, ainsi que le classement par préférence des types de légumineuses consommés en Algérie.
- La dernière partie du questionnaire est consacrée aux opinions des enquêtés par rapport à une transformation industrielle, à fin d'innover de nouveaux produits alimentaires à base de légumineuses, ainsi qu'à la proposition d'actions publiques incitant leur consommation chez les Algériens.

3. Méthodologie

L'enquête a été réalisée durant le mois de janvier 2018 sur une population de 100 personnes enquêtées (40 hommes et 60 femmes), âgées de 18 à 65 ans. Le choix des wilayas (Chlef, Mostaganem et Tizi ouzou) était étroitement lié à la possibilité de déplacement, ainsi qu'à la disponibilité de l'enquêteur au niveau de la région étudiée au cours du déroulement de l'enquête.

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux**3.1. Déroulement de l'enquête**

L'enquête commence par une conversation expliquant le but de l'interrogation, puis le contenu du questionnaire pour faciliter l'expérience aux participants interrogés, une fois l'explication terminée, la personne enquêtée commence à répondre aux différentes questions posées. Il arrive parfois à l'enquêteur de lire et d'écrire les réponses à la place du participant en cas de difficultés de maîtrise de la langue. Le temps moyen de la réponse était de 15 minutes.

3.2. Collecte et saisie des données

Les réponses au questionnaire ont été collectées, puis les données ont été saisies manuellement dans un programme informatique «Excel», pour un traitement statistique. Une analyse de la variance a été réalisée à l'aide du logiciel statistique Statbox 6.4.

4. Résultat et discussion

4.1. Statut des enquêtés participants à l'enquête

L'ensemble d'informations décrivant le profil des personnes enquêtées est présenté par le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Informations générales et profils des enquêtés

Nombre et âge	100 participants âgés de 18 à 65 ans	
Région (%)	Chlef	50
	Mostaganem	20
	Bédjaia	30
Sexe (%)	Homme	40
	Femme	60
Niveau de formation (%)	Universitaire	30
	Secondaire	07
	Inférieur	63
Situation familiale (%)	Seule	31
	En couple	26
	En couple avec un ou plusieurs enfants	43
Revenu mensuel (%)	Pas de revenu	30
	< 20000da	40
	>30000da	30
Régime végétarien (%)	oui	03
Consultation du tableau de valeur nutritive (%)	oui	21

L'analyse du tableau 10 révèle une minorité des enquêtés qui suivent un régime végétarien (seulement 3%). L'ensemble des enquêtés salariés (70%) représentent le groupe de participants chargés des achats, et/ou ayant une liberté de choisir leurs denrées alimentaires lors des courses, avec une minorité (21%) qui s'intéresse aux tableaux des valeurs nutritives. La situation familiale, le niveau d'éducation, le revenu mensuel et le type de régime affectent profondément l'achat et la consommation des légumineuses chez l'Algérien.

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux**4.2. Expériences d'achats et de consommation des légumineuses**

L'analyse du tableau 11 signale une faible fréquence d'achat des légumineuses, estimée de 2 à 3 fois par an chez 81% des enquêtés. Seulement 19% de la population enquêtée achètent leurs légumineuses 2 à 3 fois par mois. Ces achats sont en majeure partie des légumineuses secs (65%), et parfois en conserve (15%) ($p < 0,01$).

Tableau 11: Expériences d'achats et de consommation des légumineuses

Variables étudiées		Résultat (%)	P
Fréquence d'achat	2-3 fois par mois	39 ^{b**}	0,00001
	2-3 fois par an	61 ^{a**}	
Type de légumineuses	légumineuses secs	65 ^{a**}	0
	légumineuses en conserve	15 ^{b**}	
	légumineuses secs et en conserve	20 ^{b**}	
Ambiance d'achat	présentation appréciée dans ce lieu	56 ^{a**}	0
	bonne qualité	25 ^{c**}	
	endroit pratique, gestion du temps	63 ^{a**}	
	prix élevés/ qualité inférieure	45 ^{b**}	
Acceptabilité du goût	Oui	42 ^{a**}	0,00001
	Non	19 ^{b**}	
	Moyennement	39 ^{a**}	
La fréquence de consommation par semaine		80 [*]	0
Consommation de variétés locales		61 [*]	0,012
Consommation liée à la saison		47 [*]	
Sensation du goût végétal		54 [*]	

Les résultats sont exprimés en moyenne suivis de l'écartype; **Effet hautement significatif ($p < 0,01$); *Effet significatif ($0,01 < p < 0,05$); NS: Effet non significatif ($p > 0,05$); **a,b,c**: comparaison statistique des moyennes.

L'évaluation de l'ambiance d'achat des légumineuses dévoile une acceptabilité de leur présentation, et de leurs endroits d'achat chez plus de 55% des enquêtés. Cependant, le niveau d'appréciation de la qualité (25%) et des prix (55%) des légumes secs, indique une mauvaise acceptabilité par la majorité des participants ($p < 0,01$). L'expérience avec le goût végétal des légumineuses montre une acceptabilité chez 42% des enquêtés. Globalement, la fréquence de consommation des légumineuses par semaine est notée chez 80% des enquêtés, avec une prédominance des variétés locales (61%). Notons que cette consommation est étroitement liée à la saison chez 47% des personnes enquêtées ($p < 0,05$).

4.3. Connaissances sur les légumineuses

Le niveau de connaissance des enquêtés sur les légumineuses a été évalué (figure 10)

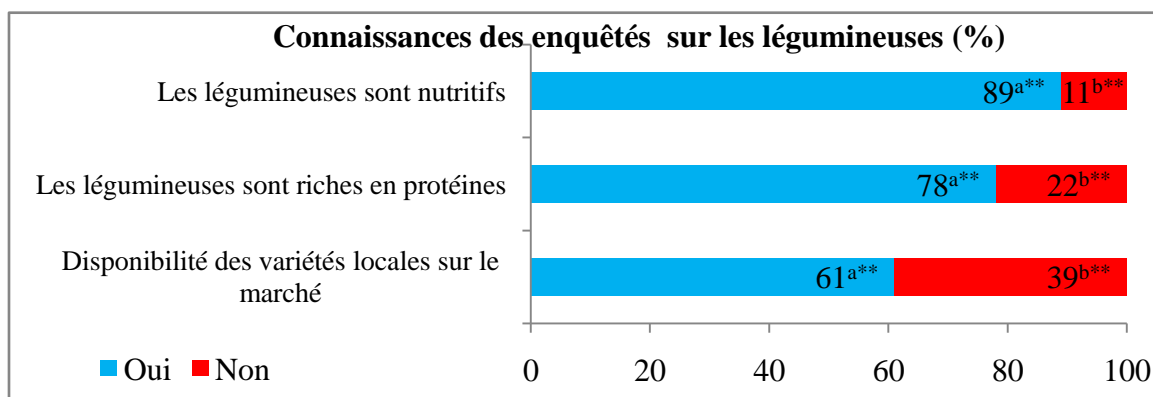


Figure 10 : Connaissances des enquêtés sur les légumineuses

Les données révèlent que 61% des enquêtés sont informés de la disponibilité des variétés locales de légumineuses sur le marché Algérien, tandis qu'une population non négligeable (39%) croit qu'ils s'agissent de variétés importées. Il ressort également que les légumineuses sont qualifiées d'aliments nutritifs riches en protéines pour la grande majorité des participants ($p < 0,00002$).

4.4. Consommation des légumineuses en Algérie

4.4.1. Consommation saisonnière

La figure 11 illustre les résultats de la consommation saisonnière des légumineuses.

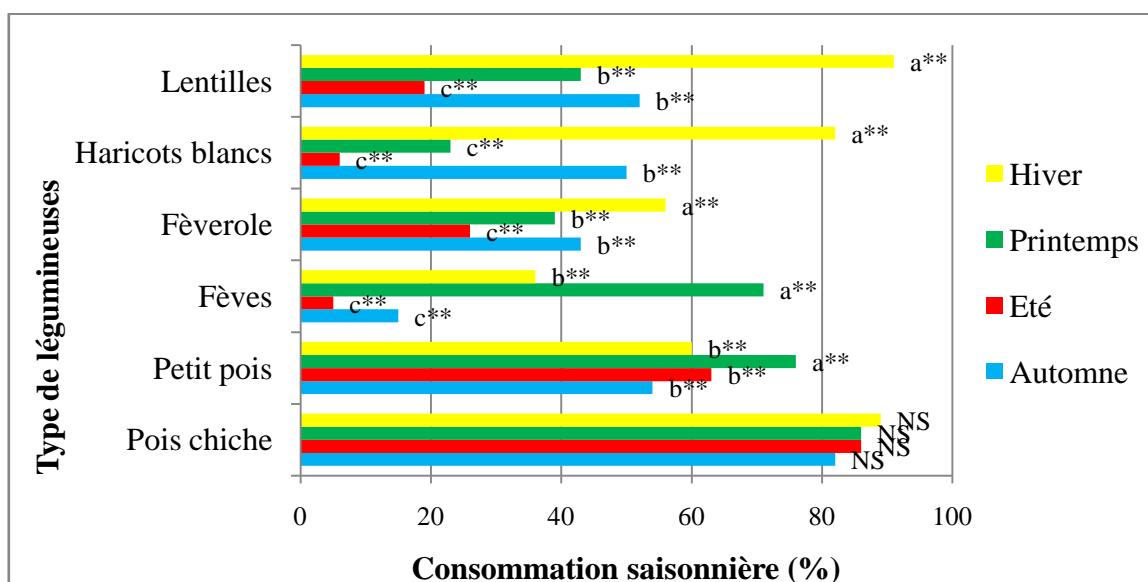


Figure 11: Consommation saisonnière des légumineuses en Algérie

Nous observons une variabilité de consommation le long de l'année pour l'ensemble des types de légumineuses. Cette consommation est maximale en saison d'hiver, excepté pour les fèves (71%) et petits pois (76%) qui sont largement consommés en printemps ($p < 0,01$).

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux

Les données dévoilent également une consommation marquante et continue, chez plus de 80% des enquêtés pour les pois chiches, et chez plus de 50% pour les petits pois, celle des lentilles, des haricots blancs et des fèvesoles s'intensifient en hiver et atteint 91, 82 et 56 % des enquêtés respectivement, et régresse en saison d'été (5 à 26%).

4.4.2. Mode de consommation

Les modes de consommation fréquemment abordés en cuisine algérienne ont été proposés aux enquêtés.

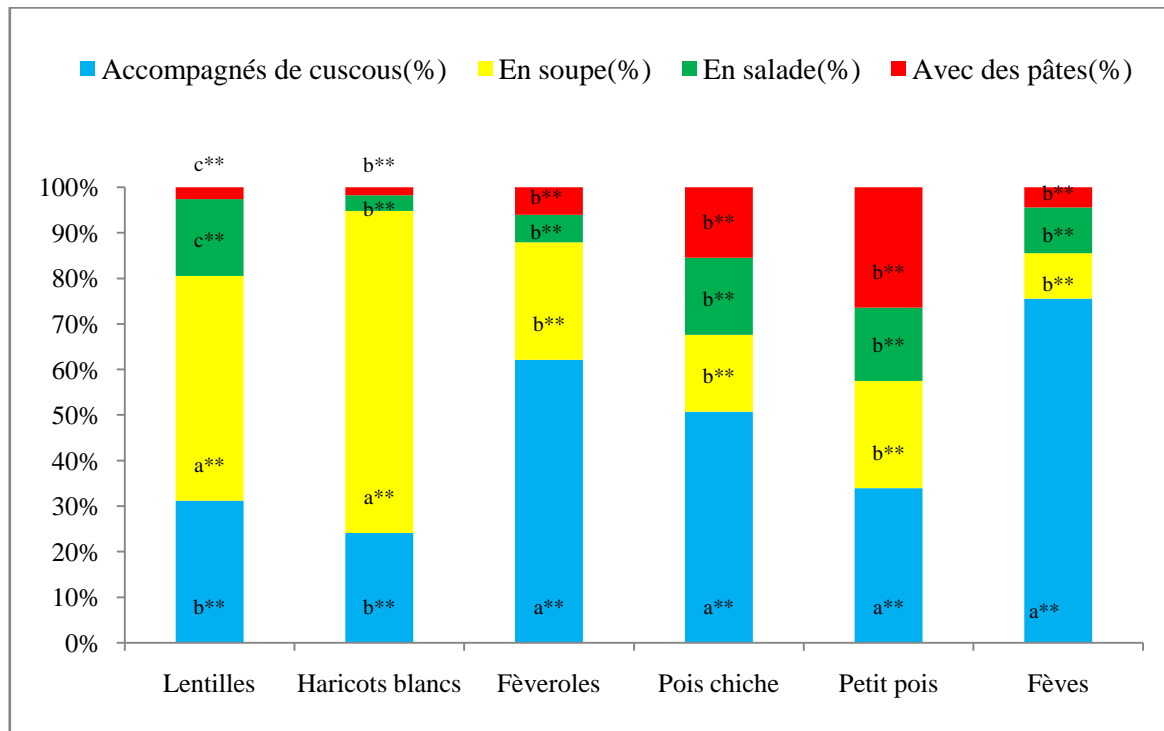


Figure 12 : Mode de consommation des légumineuses en Algérie

D'après l'histogramme (figure 12) les six types de légumes secs sont souvent consommés avec du couscous, en majeure partie les fèves, fèvesoles et pois chiches: 76, 62 et 51% respectivement), ou en soupe (lentilles et haricots blancs : 49 et 71 %), et faiblement consommés en salade (lentilles, pois chiche et petit pois: 17%), ou avec des pâtes (sauf les petits pois: 26%). Les lentilles, les haricots blancs, fèves et fèvesoles sont très peu introduits aux pâtes (2 à 4%) ($p < 0,01$).

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux

4.4.3. Consommation chez l'enfant

Le type de légumineuses le plus consommé et le mode de consommation ont été évalués chez l'enfant (Figure 13).

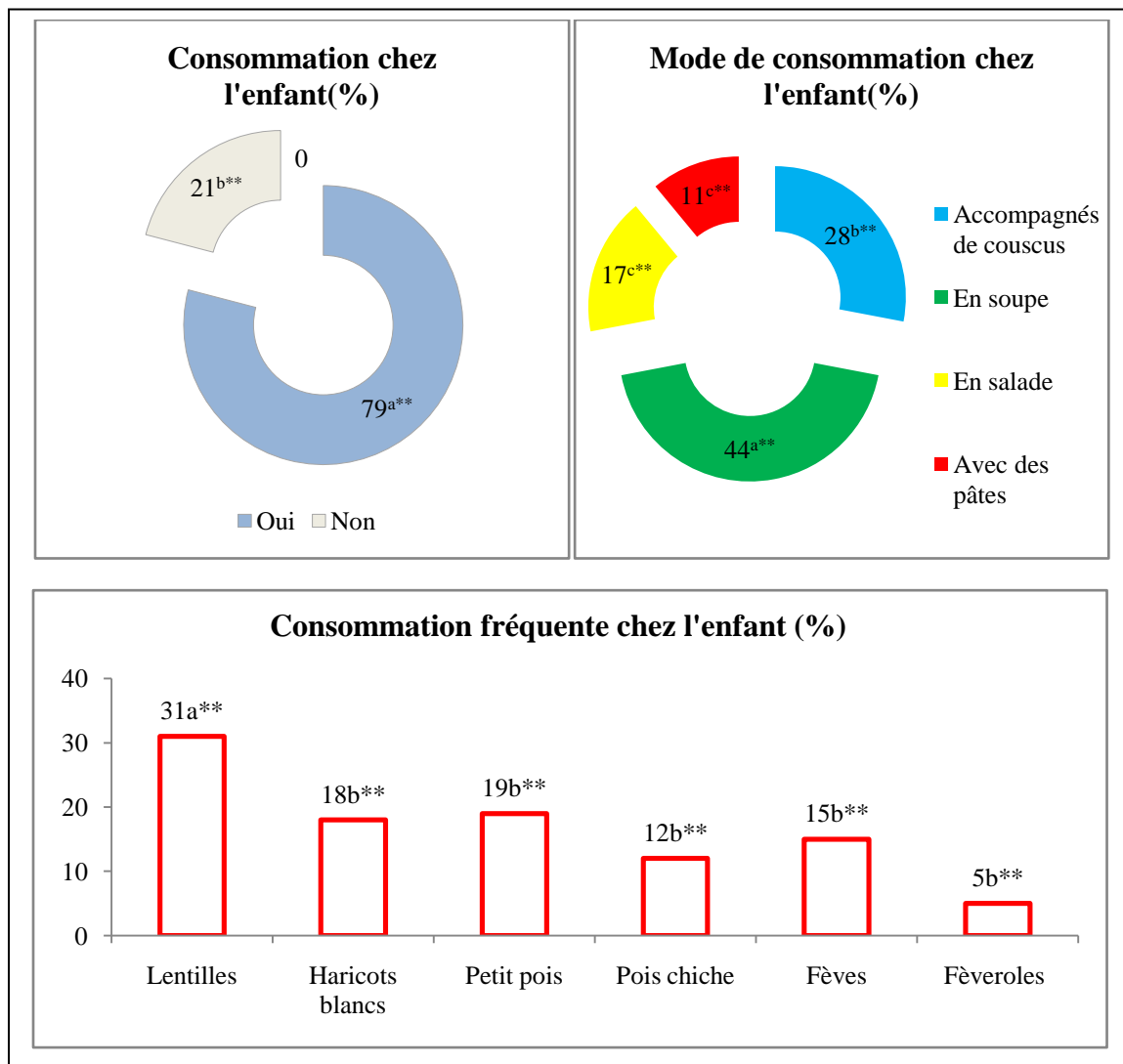


Figure 13: Mode de consommation des légumineuses chez l'enfant

La consommation des légumineuses est variée et plus notable chez les enfants; cela est affirmé par 79% des enquêtés, nous enregistrons une prédominance pour les lentilles (31%), et une consommation relativement limitée pour la fèverole (5%). La consommation des autres types de légumineuses chez les enfants reste inférieure à 20%. Concernant le mode de consommation, les légumineuses sont prioritairement consommées en soupe (44%), puis accompagnés de couscous 28%, mais moins préférés en pâtes ou en salades (11 et 17% des enquêtés respectivement) ($p < 0,01$).

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux**4.4.4. Contraintes de consommation des légumineuses en Algérie**

Les différentes contraintes de consommation sont classées par ordre décroissant (Figure 14).

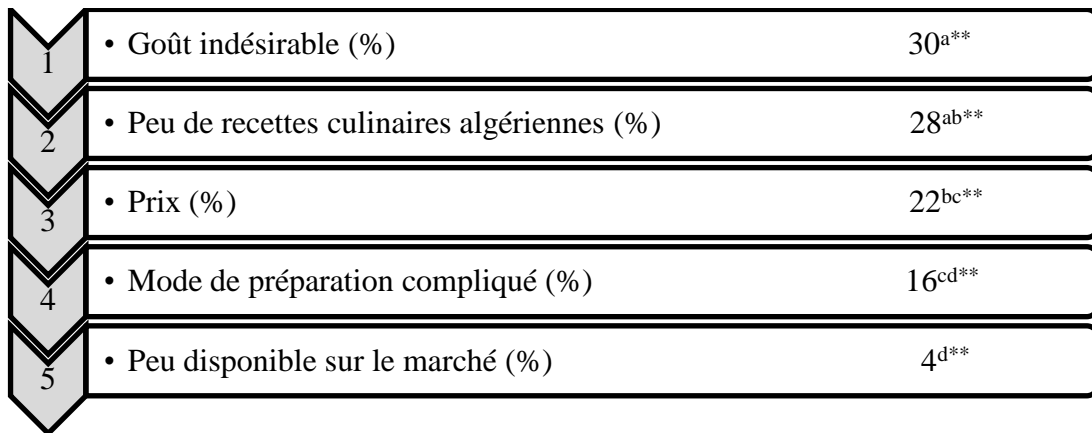


Figure 14 : Contraintes de consommation des légumineuses en Algérie

Il ressort que les légumineuses présentent un goût indésirable pour 30% des personnes enquêtées, en revanche 28% d'entre eux trouvent peu de recettes culinaires algériennes à base de légumineuses. En parallèle, cette consommation est relativement influencée par leur prix (22%) et mode de cuisson (16%) en Algérie ($p < 0,01$). La disponibilité des légumineuses sur le marché affecte très peu (4%) cette consommation.

4.5. Mode de cuisson

La figure 15 illustre la variabilité des modes de cuisson des légumes sec en Algérie

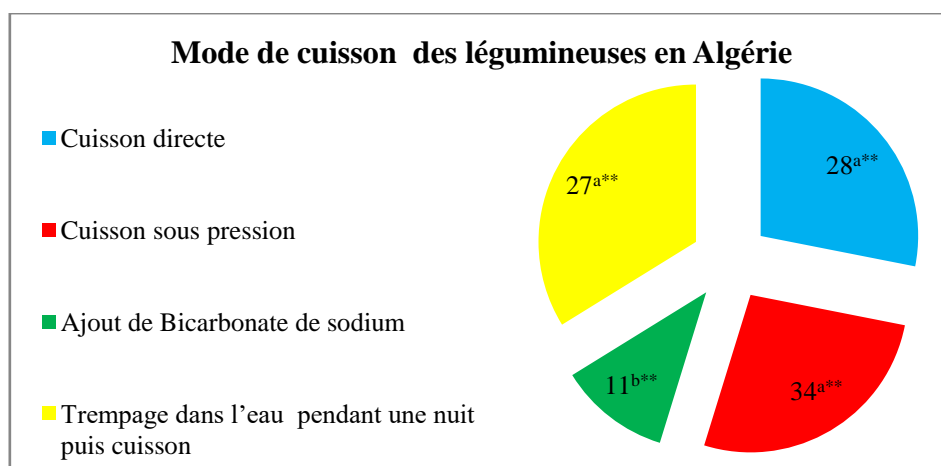


Figure 15 : Mode de consommation des légumineuses chez l'enfant

Les légumineuses sont souvent cuites sous pression (34%) en cuisine Algérienne. Par ailleurs, nous abordons parfois le mode de cuisson directe, ou de cuisson après trempage des

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux

graines dans l'eau pendant une nuit ($p < 0,01$), l'utilisation du bicarbonate de sodium dans l'eau de cuisson est un mode faiblement attribué (11%).

4.6. Classement par préférence

Suivant la population testée, le classement par préférence des différents groupes d'aliments affiche les légumineuses en dernier rang après les céréales, le lait et produits laitiers, et les fruits et légumes, les premiers rangs sont réservés aux viandes et poissons ($p < 0,01$) (figure 16).

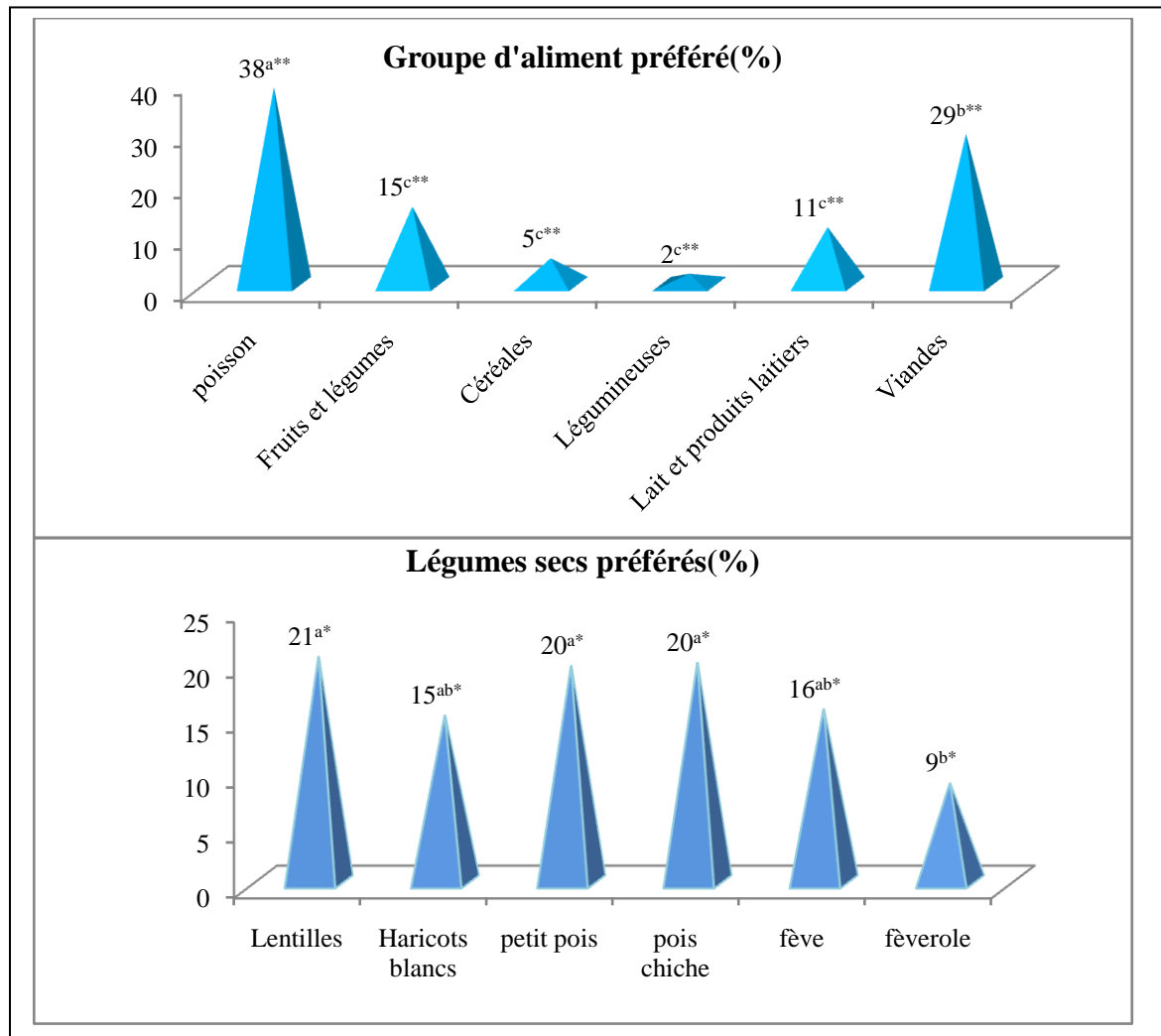


Figure 16: Classement par préférence des légumineuses en Algérie

Les six légumes secs consommés en Algérie ont été classés par préférence et illustrés par la figure 16, il on ressort que les lentilles, les petits pois et pois chiches représentent les légumineuses les plus préférés chez 20 à 21 % des personnes enquêtés, la fèverole n'est appréciée que par 9% des participants après les fèves et les haricots blancs ($p < 0,05$).

Consommation des légumineuses en Algérie. Enquête sur l'état des lieux

4.7. Interrogatoire spécifique

L'interrogatoire spécifique a dévoilé l'opinion des enquêtés par rapport aux habitudes de consommation des légumineuses

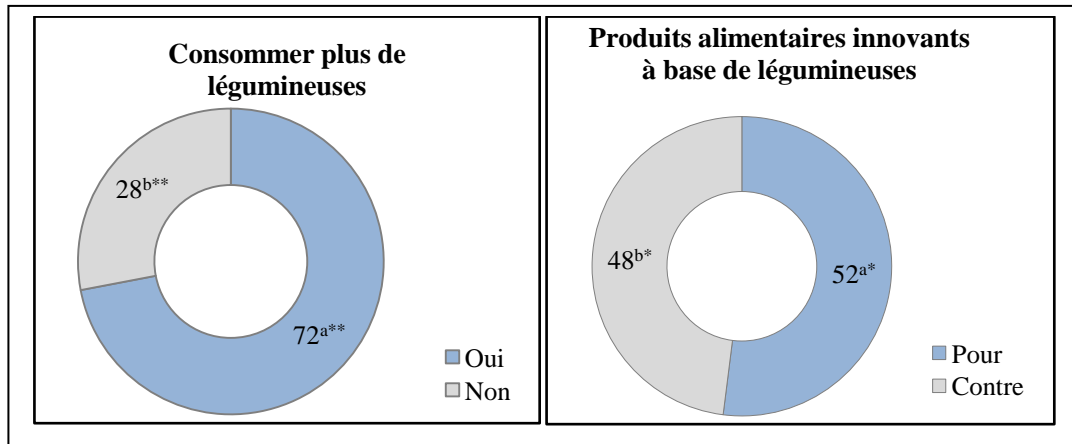


Figure 17 : Opinion des enquêtés sur les produits innovants à base de légumes secs.

Nous enregistrons 72% des personnes enquêtées qui sont prêts à changer leurs habitudes alimentaires et incorporer plus de légumineuses dans leurs repas réguliers ($p < 0,01$), il ressort également que la majorité des enquêtés montrent leur accord pour l'innovation de nouveaux produits alimentaires à base de légumineuses ($p < 0,05$).

5. Conclusion

A la lumière de ces résultats, l'évaluation de la situation de consommation des légumineuses en Algérie à travers cette enquête d'état des lieux signale une faible consommation, qui est influencée par la saison. A l'exception du pois chiche qui présente une consommation le long de l'année, la consommation saisonnière des légumineuses présente une grande variabilité, elle est maximale en saison d'hiver, excepté pour les fèves et petits pois qui sont largement consommés en printemps.

Les légumes secs sont souvent consommés avec du couscous (fèves, fêverole et pois chiches), ou en soupe (lentilles et haricots blancs), faiblement consommés en salade (lentilles, pois chiche et petit pois), et très peu introduit aux pâtes (lentilles, haricots blancs, fèves et fêveroles).

Chez les enfants, la consommation est prédominante pour les lentilles, et relativement limitée pour la fêverole. De plus, ces légumineuses sont consommées en soupe ou accompagnés de couscous, mais moins préférés en pâtes ou en salades.

Les légumineuses sont souvent cuites sous pression et faiblement traités au bicarbonate de sodium. Par ailleurs, le mode de cuisson directe, ou de cuisson après trempage dans l'eau sont parfois employés.

Le goût indésirable des légumineuses présente la contrainte majeure de consommation chez 30% de la population enquêtée, suivi par le manque de recettes culinaires (28%), le prix (22%), le mode de cuisson (16%) et la disponibilité sur le marché (4%).

La préférence de consommation des légumineuses chez la population enquêtée, revient aux lentilles, puis aux petits pois et pois chiches.

Il ressort également de cette étude, que la majorité des enquêtés sont prêts à changer leurs habitudes alimentaires et incorporer plus de légumineuses dans leurs repas réguliers, et montrent leur accord par rapport à l'innovation de nouveaux produits alimentaires à base de légumineuses en Algérie.

**Étude II. Effet du
traitement de
torréfaction sur les
paramètres
nutritionnels et
fonctionnels de la
farine de lentilles**

Étude II. Effet du traitement de torréfaction sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels de la farine de lentilles

1. Matériel végétal

Les deux espèces de lentilles étudiées ont été récoltées au stade de maturité au cours de la période de septembre 2018. Les types de lentilles, leurs variétés et leurs origines sont résumées dans le tableau 12.

Tableau 12: informations spécifiques des variétés de lentilles étudiées

Espèces	Cultivars	Régions
<i>Lens culinaris.</i>	CD: Cultivar Dahra	Wilaya de Chlef : 318 m d'altitude, 36°3'46''N de latitude et 1°24'2'' E de longitude
<i>Medik</i>	CS229: Cultivar Syrie 229	Wilaya de Tiaret : 1157 m d'altitude, 34°54'3'' N de latitude et 1°34'27'' E de longitude

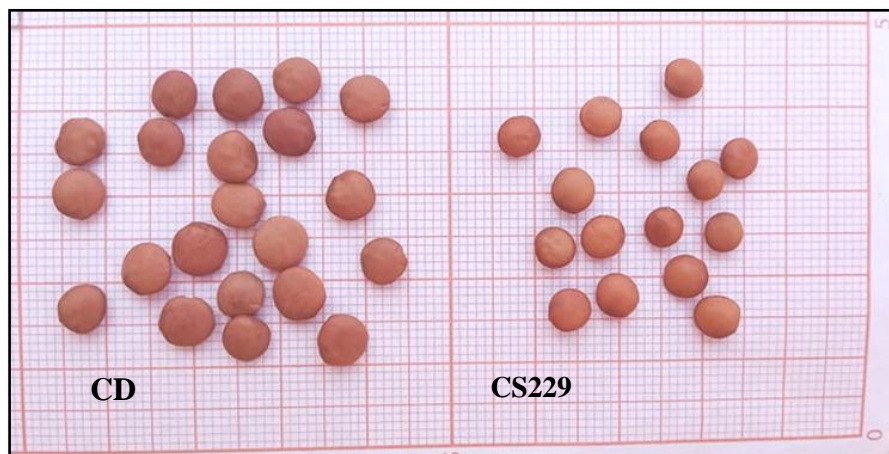


Figure 18: Graines de lentilles du cultivar Dahra (CD) et du cultivar Syrie 229 (CS229).

2. Méthodologie

2.1. Traitement des graines de lentilles (torréfaction)

Les graines de lentilles (200 g), préalablement débarrassées des matières étrangères et nettoyées, sont torréfiées à 120 ou à 140°C pendant 15 ou 30 min à l'aide d'un torréfacteur à tambour rotatif, pour que les graines toujours en mouvement soient uniformément torréfiées et sans brûler. Des essais préliminaires ont été menés pour sélectionner les traitements thermiques étudiés en tenant compte de la couleur (brunissement) et de l'aspect des graines; nous avons obtenu des graines brûlées en torréfiant à plus de 140°C.

2.2. Préparation de la farine de lentilles torréfiées (FLT)

Les graines torréfiées sont refroidies à température ambiante (30°C), broyées en poudre fine, puis tamisée à fin d'obtenir des farines dont la taille des particules est \leq à 300 μm , puis stockées à 4°C dans des bocaux propres, hermétiques et étiquetées.

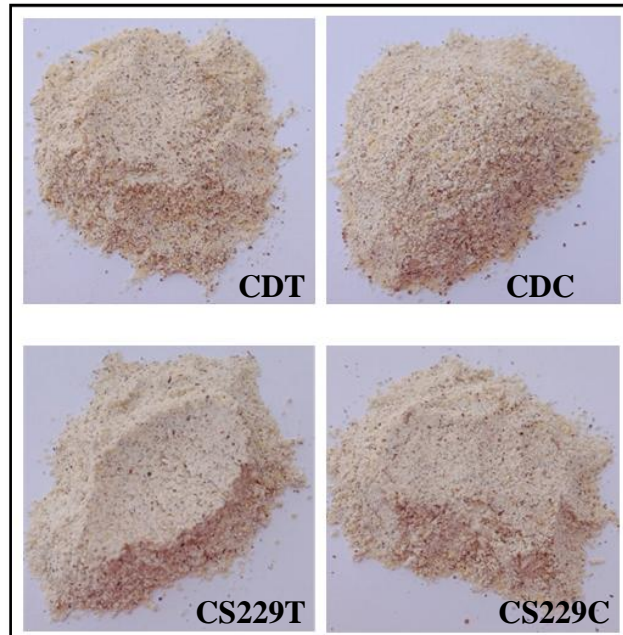


Figure 19: Farines des graines de lentilles torréfiées et non torréfiées (crues) des cultivars Dahra et Syrie 229

2.3. Détermination de la composition chimique globale

2.3.1. Teneur en matière sèche, en cendres et taux d'humidité

Les teneurs en matière sèche, en cendres et en humidité ont été déterminées par gravimétrie selon les méthodes AOAC (1990). L'humidité totale et le taux de matière sèche ont été mesurés en séchant les échantillons à 105°C jusqu'à poids constants. La teneur en cendres a été déterminée après incinération complète des échantillons à 550°C pendant 4 heures. Les résultats ont été exprimés en g pour 100 g de farine de lentilles.

2.3.2. Teneur en protéines

Les protéines des échantillons ont été dosées par la méthode de Lowry (1951). Les protéines réagissent avec le réactif de Folin- Ciocalteu pour donner des complexes colorés. L'intensité de la coloration dépend de la quantité d'acides aminés présents et varie selon les protéines.

- Préparation de l'échantillon et de l'étalon

1 g de poudre de lentilles est broyée avec 25 ml d'eau physiologique puis filtrée, 1ml du filtrat est additionné d'eau distillée jusqu'à volume final (100ml), d'autre part une solution étalon de Sérum Albumine Bovin (BSA à 0.025%) est préparée dans de l'eau distillée puis diluée (0.025 - 0.0025 %) dans l'eau physiologique.

- Préparation du réactif de Lowry

Le réactif de Lowry est composé de 50 ml de la solution A (constituée d'1g de NaOH plus 5g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) dans 250 ml d'eau distillée) et de 5 ml de la solution B (un mélange de 0,125g de sulfate de cuivre (Cu SO_4) et de 0,25g de tartrate double sodium potassium dans 25 ml d'eau distillée). 5 ml du réactif de Lowry sont ajoutés aux tubes à essai de la BSA et de la solution à doser, après 10 minutes, 0,5 ml de Folin Ciocalteu dilué à moitié sont versés dans chaque tube, les mélanges sont agités puis introduits au réfrigérateur pendant 30 minutes et à l'obscurité. La densité optique obtenue à 600 nm est ensuite convertie en pourcentage de protéines grâce à la droite d'étalonnage préparée. La teneur en protéines exprimée en pourcentage est donnée par la formule suivante :

$$C = (X.25.100) / P$$

Avec :

C: Concentration en protéines, X : Concentration de l'échantillon en abscisse, P : poids de l'échantillon

2.3.3. Teneurs en glucides**- Préparation de l'extrait des sucres solubles**

L'extraction des sucres solubles a été assurée en chauffant au bain marie (85°C/20 minutes) un mélange de 0.1 g de farine de lentilles et 10 ml de solution éthanolique 80%, le mélange est centrifugé à 1000 g /10 min et le surnageant contenant les sucres solubles est récupéré, l'opération est répétée deux fois avec le culot et les surnageants collectés sont ensuite ajustés à un volume final de 30 ml.

2.3.3.1. Teneurs en sucres solubles

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, les dérivés furfuriques formés suite à la déshydratation des oses se condensent avec le phénol pour donner des complexes jaune-orangés. Un millilitre de la solution phénolique (C₆H₆O) à 5% a été additionné à un millilitre de la solution standard de glucose (0,1-0,01 %). Ensuite, 5 ml d'acide sulfurique concentré ont été ajoutés, puis le mélange réactionnel est homogénéisé et refroidi dans un bain de glace. Les différents échantillons de lentilles ont été soumis à l'analyse comme dans le cas de la réalisation de l'étalon. La densité optique a été mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 490 nm. L'expression des teneurs en sucres solubles a été obtenue à partir de l'équivalence du standard puis exprimé en pourcentage par gramme de poudre végétale.

2.3.3.2. Teneur en sucres réducteurs

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. 1ml de réactif au DNS a été ajouté à 1ml d'échantillon à doser (1%). Le mélange est porté à ébullition pendant 5 min et refroidi rapidement. Après addition de 10 ml d'eau distillée, le contenu des tubes a été homogénéisé au vortex, et la densité optique a été lue à 540 nm. La courbe d'étalonnage (solution de glucose de 0 à 1g/l) a été utilisée pour la détermination de la teneur en sucres réducteurs. Les résultats ont été exprimés en pourcentage par gramme de lyophilisat végétal.

2.3.3.3. Teneur en amidon

La détermination du taux d'amidon dans les différentes farines de lentilles a été assurée de la même manière que pour les sucres solubles (Dubois et *al.*, 1956), après hydrolyse acide du culot issu de l'extraction des sucres solubles.

- Hydrolyse acide de l'amidon

Un volume de 5 ml d'eau distillée est mélangé au culot, au moment de l'agitation à l'aide d'une baguette en verre 6.5 ml d'acide perchlorique (52%) sont rajoutés, le mélange est agité continuellement pendant 5 minutes et occasionnellement pendant les 15 minutes qui

suivent, ensuite 20 ml d'eau distillée sont additionnés et le mélange est centrifugé, l'opération est répétée deux fois avec le culot et les surnageants collectés sont ensuite ajustés à un volume final de 100 ml. L'estimation du taux d'amidon des échantillons a été assurée en multipliant la teneur en glucose par l'équivalent en glucose de 0,9 (Chow et Landhäusser, 2004).

2.3.4. Teneur en matières grasses

La méthode de Folch et *al.* (1957) a été utilisée pour quantifier la matière grasse de nos échantillons, le principe était d'extraire à froid la totalité des lipides polaires et apolaires contenus dans les échantillons par des solvants organiques (chloroforme/méthanol), puis les peser. Ainsi, une masse de 10g de chaque échantillon a été homogénéisée en présence de 60 ml de réactif de Folch (60 /40: chloroforme / méthanol) pendant 2 min. Les mélanges obtenus ont été filtrés puis le filtrat a été versés dans des ampoules à décanter, un système biphasique est obtenu : une phase surnageant contenant tous les composés non lipidiques, et une phase organique contenant la quasi-totalité des lipides, la séparation des phases a été effectuée à l'aide d'une solution de chlorure de sodium (NaCl) à 73% à raison d'1 volume de NaCl pour 4 du filtrat, le mélange est agité et laissé décanter pendant 2 h. Après décantation, les phases apparaissent incolores, limpides et séparées par un ménisque; la phase inférieure (chloroforme - lipides) a été filtrée sur du sulfate de sodium qui a la propriété d'absorber l'eau et le chloroforme a été évaporé sous vide. Le pourcentage des lipides totaux (% LT) a été calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ LT} = (\text{Poids du ballon plein} - \text{poids du ballon vide}) \times 100 / \text{poids de l'échantillon}$$

2.3.5. Apport énergétique

L'énergie brute (EB) est calculée selon la formule proposée par Eknayake et *al.* (1999) :

$$\text{EB (kJ/100g MS)} = (\% \text{ protéines} \times 16,7) + (\% \text{ lipides} \times 37,7) + (\% \text{ glucides} \times 16,7)$$

2.4. Détermination du contenu phyto-chimiques

2.4.1. Préparation de l'extrait végétal

L'extrait des graines de lentilles a été préparé selon la méthode décrite par Fratianni et *al.* (2014) avec quelques modifications. Les échantillons broyés (100 g chacun) 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, 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 frité a porosité 4. Après une évaporation complète du solvant, chaque extrait d'échantillon a été lyophilisé et stocké dans l'obscurité à 0°C jusqu'à éventuelles analyses.

2.4.2. Teneur en polyphénols totaux

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 et d'acide phosphomolybdique sa réduction produit une coloration bleue proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait analysé (Boizot et Charpentier, 2006). Un volume de 5ml de Folin Ciocalteu dilué 10 fois est mélangés avec 1ml (0,1%) d'extrait méthanolique ou d'étalon (solutions d'acide gallique allant de 0 à 0,01 mg/ml). Après 5 minutes d'incubation, 4ml de carbonate de sodium (7,5%) ont été additionnés. L'absorbance a été lue à 765 nm 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) et exprimé en mg équivalent acide gallique par g de lyophilisat (mg EAG/g).

2.4.3. Teneur en flavonoïdes

Le contenu en flavonoïdes totaux (CFT) a été estimé selon la méthode décrite par Chang et *al.* (2002). Le groupement hydroxyle libre en position 5 des flavonoïdes forme un complexe jaunâtre par chélation des métaux (Fer et Aluminium). Pour ce faire, un volume de 0,75 ml d'AlCl₃ (2%) a été mélangé à un volume égal d'extrait méthanolique. Les densités optiques ont été lues à 430 nm contre un blanc (1ml de l'extrait+1 ml de méthanol) après 10 minutes d'incubation. Les expressions des résultats ont été obtenues à partir de l'équivalence du standard (quercétine) par gramme de lyophilisat (mg EQ/g).

2.5. Analyses des facteurs antinutritionnels

2.5.1. Teneur en tanins condensés

Le dosage des tanins condensés a été effectué selon la méthode de Broadhurst et Jones (1978). Le principe de ce dosage est basé sur la fixation du groupement aldéhydique de la vanilline sur le carbone 6 du cycle A de la catéchine pour former un complexe chromophore rouge qui absorbe à 550 nm (Schofield et *al.*, 2001). Ainsi, 400µl de chaque extrait ont été ajouté à 3ml d'une solution méthanolique à 4% de vanilline. Ensuite, 1,5 ml

d'acide chlorhydrique concentré a été additionné. L'absorbance a été lue après 15min de réaction. La concentration des tanins condensés a été déduite à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec la catéchine (1-10 mg/ml). Les résultats ont été exprimés en milligramme équivalent catéchine par gramme de lyophilisat (mg EC/gl).

2.5.2. 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). L'extraction des phytates a été effectuée en ajoutant à 0.5 g d'échantillon, 10 ml d'HCl à 2,4% suivie d'une agitation (1h) et d'une centrifugation (3000 tpm /10 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 (FeCl₃.H₂O à 0,03% contenant l'acide sulfosalicylique à 0,3%) et le mélange est centrifugé, sa coloration rose induite par la réaction des ions ferriques avec l'acide sulfosalicylique diminue. Cette décoloration proportionnelle à la quantité d'acide phytique est mesurée au spectrophotomètre à 500 nm. L'acide phytique (0-40 µg/ml) est utilisé comme standard, et les résultats sont exprimés en mg eq. AP/g d'échantillon.

2.6. Evaluation de l'activité antioxydante

Trois tests d'évaluation de l'activité antioxydante ont été réalisés, DPPH, ABTS et FRAP.

2.6.1. Test du piégeage des radicaux DPPH

Le DPPH (1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl) est un radical libre stable qui accepte un électron ou un radical hydrogène pour devenir une molécule diamagnétique stable, il est largement utilisé pour étudier la capacité du piégeage des radicaux. Au cours du test, les antioxydants réagissent avec le radical DPPH (couleur violette foncée) et le convertissent en α , α -diphényl- β -picryl hydrazine de couleur jaune. Le degré de décoloration indique le potentiel de piégeage des radicaux par l'antioxydant (Blois, 1958; Huang et *al.*, 2005; Deepa et *al.*, 2013). Le test DPPH a été réalisé selon la méthode décrite par Zakaria et *al.* (2008).

Brièvement, 50µl de chacun des extraits méthanoliques à différentes concentrations ont été mélangées avec 5ml d'une solution méthanolique de DPPH (0,004%), l'absorbance a été lue à 517 nm après 30 minutes d'incubation à l'obscurité et à température ambiante. Parallèlement, des solutions méthanoliques d'acide ascorbique et de Trolox ont été utilisées comme contrôle positif. La capacité antioxydante des extraits a été exprimée en CI50, qui

représente la concentration minimale en extrait nécessaire pour piéger 50% de la solution du DPPH, et qui a été ensuite calculée à partir du graphique de pourcentage d'inhibition tracé. La formule suivante a permis de calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH:

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

Avec :

A_c : Absorbance du contrôle (absorbance de la solution en absence de molécules testées).

$A_{\text{échantillon}}$: Absorbance de la solution en présence de molécules testées.



Figure 20 : Décoloration du radical DPPH après réduction par l'antioxydant.

2.6.2. Test du piégeage des radicaux ABTS

L'activité de piégeage des radicaux ABTS de l'extrait a été déterminée selon la méthode décrite par Huang et *al.*, (2011). La réaction entre le réactif ABTS (acide 2, 2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) et le persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) aide à la formation du radical $ABTS^+$ du chromophore bleu/vert. Lors de l'ajout de l'échantillon, le cation radical réduit l' $ABTS^+$ induisant sa décoloration (Re et *al.*, 1999; kaur, 2020).

Le radical cation $ABTS^+$ a été produit par la réaction entre une solution d'ABTS à 7 mM dans l'eau et une solution de persulfate de potassium à 2,45 mM pour obtenir une concentration finale de 3,5mM. Le mélange est conservé à l'obscurité et à la température du laboratoire pendant 16 h. Avant utilisation, cette solution a été diluée avec de l'éthanol pour obtenir une absorbance de $0,700 \pm 0,020$ à 734 nm. Par la suite, 50 μ l de solution $ABTS^+$ ont été ajoutés à 5ml d'extrait de lentilles à différentes concentrations.

L'absorbance a été enregistrée après 10 minutes d'incubation au noir et à température ambiante. Des blancs de solvants appropriés pour chaque essai ont été utilisés. La capacité antioxydante des extraits de lentilles a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical ABTS selon l'équation:

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

Avec :

A contrôle : correspond à l'absorbance du contrôle

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

A blanc : Correspond à l'absorbance du blanc (5ml d'éthanol + 50µl de chaque échantillon).

L'absorbance du contrôle positif (solution d'acide ascorbique ou de Trolox) a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons. La capacité de piégeage de l'ABTS a été établie à partir du graphique de pourcentage d'inhibition et exprimé en IC50.

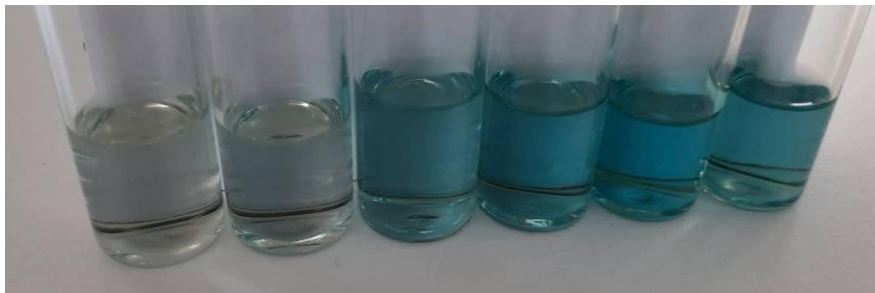


Figure 21: Réduction du radical ABTS⁺ par l'antioxydant de l'échantillon induisant sa décoloration.

2.6.3. Test de pouvoir antioxydant reducteur ferrique (test FRAP)

Le test Frap mesure le potentiel réducteur d'un antioxydant réagissant avec un complexe ferrique tripyridyltriazine [Fe³⁺ + -TPTZ] et produisant une tripyridyltriazine ferreuse colorée [Fe²⁺ + -TPTZ]. Généralement, les propriétés réductrices sont associées à la présence de composés qui exercent leur action en cassant la chaîne des radicaux libres en donnant un atome d'hydrogène. Ce test traite les antioxydants de l'échantillon comme un réducteur dans une réaction colorimétrique à liaison redox (Nishaa et *al.*, 2012).

La capacité à réduire les ions ferriques a été mesurée par la méthode de Benzie et Strain (1996). Le réactif FRAP a été fraîchement préparé en mélangeant un tampon acétate de

sodium ($C_2H_3NaO_2$) 300 mM (pH 3,6), une solution TPTZ 10,0 mM (tripyrindyl triazine) et une solution de chlorure ferrique hexahydraté ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 20,0 mM dans l'HCl 40 mM avec un rapport de 10: 1: 1 en volume. 0,3 ml d'échantillons à différentes concentrations a été ajoutés à 300 μ l d'eau ultra pure puis mélangé avec 9ml de réactif FRAP, et le mélange réactionnel a été incubé à 37°C pendant 30 minutes. L'augmentation de l'absorbance (à 593 nm) correspond à une augmentation du pouvoir réducteur ferrique des extraits testés (Singleton et Rossi, 1965). L'absorbance du contrôle positif (Acide ascorbique et Trolox) a été mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons. Les résultats de l'activité antioxydante ont été exprimée en IC50 (mg / ml).

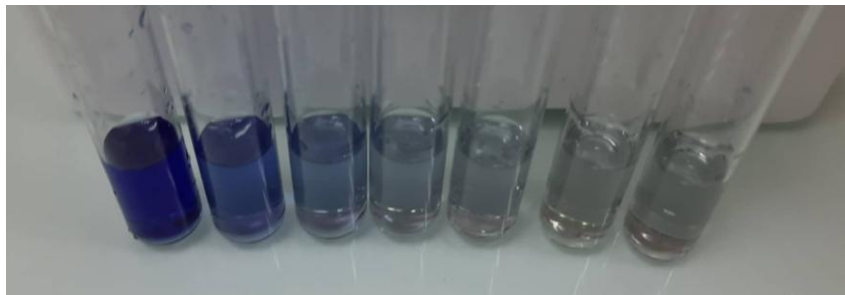


Figure 22: Réduction du complexe incolore $[Fe]^{3+}$ en un complexe intensément bleu $[Fe]^{2+}$ par l'antioxydants.

2.7. Analyses des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles

2.7.1. Capacité d'absorption d'eau et d'huile

La capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH) a été établie conformément à la méthode décrite par Sosulski et *al.*(1976) avec une légère modification. Brièvement, 1 g (P) de poudre de lentilles est mélangée avec 10 ml (V0) d'eau distillée ou d'huile végétale, la suspension est mélangée au vortex puis laissée reposer pendant 30 min à la température ambiante (25 ± 2 °C). Après centrifugation (3000 tpm /30 min), le surnageant est récupéré puis mesuré (V1). La CAE et la CAH sont exprimés en ml d'eau ou d'huile absorbée par g d'échantillon selon la formule suivante :

$$CAE \text{ ou } CAH \text{ (ml/g)} = (V1 - V0) / P$$

2.7.2. Capacité émulsifiante

La capacité émulsifiante (CE) a été déterminée selon Yasumatsu et *al.*(1972) avec une légère modification. Un volume de 5 ml de suspension de poudre de lentilles à 7% est mélangé avec 5 ml d'huile végétale et homogénéisé pendant 5 min au vortex, puis centrifugé

(1000 g) pendant 5 min. Après centrifugation, une couche d'émulsion est formée; aussi bien la longueur (L1) dernière que celle du contenu total (L0) est mesurée au moyen d'une règle graduée. La CE est calculée comme suit :

$$CE (\%) = (L1/L0) \times 100$$

2.7.3. Capacité moussante

La capacité moussante (CM) et la stabilité de la mousse (SM) sont déterminés par la méthode décrite par Narayana et Narasinga Rao (1982). 2 g d'échantillon sont dispersés dans 50 ml (VI) d'eau distillée à température ambiante ($25 \pm 2^\circ\text{C}$), puis fouetté à l'aide d'un batteur à la vitesse "1" pendant 30 secondes. Le volume final (VF) est mesuré dans une éprouvette graduée. La CM est calculée selon la formule suivante:

$$CM (\%) = [(VF - VI) / VI] \times 100$$

Le volume de la mousse a été mesuré 1h après le fouettage pour déterminer la stabilité de la mousse comme pourcentage du volume de mousse initial.

2.7.4. Capacité de gélification

La méthode décrite par Chau et Cheung (1998) a été attribuée pour estimer la concentration minimale gélifiante (CMG), qui correspond à la capacité de gélification des farines de lentilles. Ainsi, des suspensions de poudre de lentilles de (20, 40, 45, 50,55 et 60%) sont préparées, puis 5 ml de chaque suspension est ensuite transférée dans des tubes à essai puis maintenu à 100°C pendant 1 h dans un bain-marie. Après incubation, ces tubes sont transférés dans un bain de glace pendant 1 h, puis renversés. La CMG (%) correspond à la plus faible concentration de la suspension qui permet la formation d'un gel ferme (gel qui ne coule pas lorsque le tube est renversé).

- Il est à noter qu'un échantillon de farine de blé a subi les mêmes analyses que les échantillons de la farine de lentilles, pour servir aux études comparatives des résultats obtenus avec les farines de lentilles.

2.8. Analyse statistique

Les résultats ainsi obtenus ont été examinées par l'analyse de la variance (ANOVA bi-factorielle; facteur 1: traitement thermique appliqué, facteur 2: farine étudiée). Les résultats sont présentés en moyennes \pm écarts types avec nombre de répétitions $n=6$. Le test de Student-Neuman-Keuls a été adopté pour comparer ces moyennes, l'ANOVA montre une signification lorsque $P < 0,05$. Les corrélations linéaires bi-variées établies en utilisant le coefficient de Pearson (r^2) ont été effectuées avec le logiciel PAST 1.81.

3. Résultats et discussion

3.1. Composition chimique globale

Les résultats de la composition chimique globale sont résumés dans la figure 23.

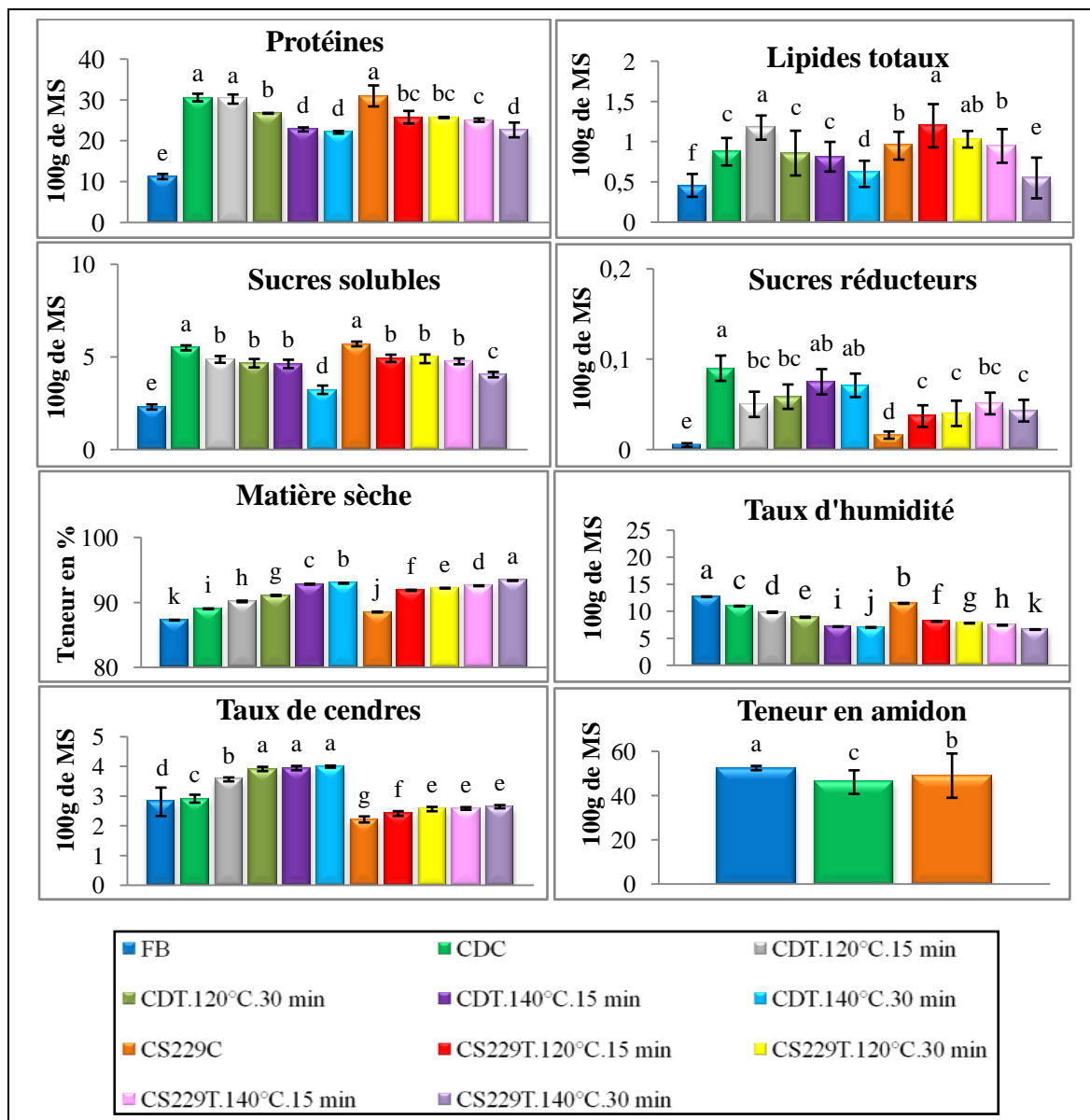


Figure 23: Composition chimique globale des farines de lentilles et de la farine de blé

Les FB et les FLC (CD et CS229) renferment des teneurs en protéines de l'ordre de 11,28%, 30,62% et 31,02% respectivement. L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du traitement appliqué et du cultivar testé sur le taux des protéines des lentilles. La torrification diminue significativement la teneur en protéines de CD et du CS229, la perte en protéines atteint son pic extrême (27,8% du contenu initiale des protéines) chez les graines torrifiées à 140°C pendant 30 min.

Nos données sur les protéines de lentilles se rapprochent à celles rapportées par Haq et *al.* (2011) (30,4%), et sont supérieures à des valeurs signalées par Wang et *al.* (2009), Hefnawy et *al.* (2011), de Almeida Costa (2006) et Porres et *al.*(2003) (20 à 26%). En accord avec Xu et *al.* (2014), la baisse des protéines durant la torréfaction pourrait être liée à la formation de complexes avec les sucres durant la réaction de Maillard.

La teneur en lipides des lentilles crues (CD et CS229: 0,89 et 0,95%) démontre une légère diminution au cours des traitements thermiques appliqués, elle atteint un minimum de 0,55% pour le CS229. Seule la torréfaction à 120°C pendant 15 min induit une légère augmentation des lipides totaux; (1,18 et 1.20% respectivement pour le CD et le CS229). Des teneurs similaires (0,8 à 1%) ont été enregistrées par Han et Baik (2008), Hefnawy et *al.*(2011), et Turfani et *al.*(2016) lors des différents traitements thermiques des graines de lentilles. De telle perte pourrait être justifiée par l'exsudation du contenu lipidique après altération structurale des parois cellulaires durant les longs traitements de torréfaction (140°C pendant 15 et 30 minutes). Yeo et Shahidi (2016) rapportent également la libération de certains composants cellulaires suite à l'affaiblissement des parois des cellules végétales.

Le taux de matière sèche et de cendres varie de 87,29% à 93,38% et de 2,21% à 3,99 respectivement, ce qui est en accord avec les données reportées par plusieurs auteurs (Mo'ez Al-Islam et *al.*, 2020; Wang et *al.*, 2009; Hefnawy et *al.*, 2011; de Almeida Costa, 2006; Pores et *al.*, 2003; Han et Baik, 2008). Ce taux augmente chez les lentilles torréfiées et atteint des niveaux supérieurs chez les échantillons traités à 140°C pendant 30 minutes; (CD: 92,97% et 3,99%) et (CS229: 93,38 % et 2,64%) respectivement. La diminution des taux d'humidité et l'élévation du taux de cendres sont le résultat de l'évaporation d'eau au cours du processus de torréfaction.

Nous notons un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du procédé de torréfaction et de la variété testée sur les niveaux des sucres solubles et des sucres réducteurs des échantillons; ces niveaux n'atteignent pas les 6% et 0,1% respectivement. Les FLC se sont montrées plus riches en sucres solubles (5,69 %) par rapport à la farine de blé (2,29 %). Les FLT représentent une faible teneur en sucres solubles comparées aux FLC. Une légère diminution de la teneur en sucres réducteurs a été enregistrée chez le CD après torréfaction à 120°C pendant 15 min. La réduction des teneurs en glucides des lentilles revient à leur destruction thermique par torréfaction. Contrairement au CD, les sucres réducteurs du CS229 ont connu une légère augmentation, qui est probablement induite par la transformation des sucres

solubles en sucres réducteurs lors de la torréfaction. En effet, le traitement thermique modifie la conformation chimique des glucides (amidon et polysaccharides) en molécules de faible poids moléculaire (monosaccharides réducteurs), ces dernières peuvent en revanche participer dans la réaction de Maillard (Berrios *et al.*, 2010) ce qui pourrait être à l'origine de leur diminution chez les cultivars torréfiés à 140°C pendant 30 minutes.

La teneur en amidon des matières premières est représentée par la figure 20, par comparaison à celles des FB (52%), les FLC renferment des taux inférieurs d'amidon (CD: 46% et CS229: 49%). Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Han et Baik (2008). Des données de littérature rapportent que l'amidon est le composant glucidique majeur des lentilles, affichant des teneurs s'étalant de 33 à 63% (Wang *et al.*, 2009; Hefnawy, 2011; de Almeida Costa, 2006; Pores *et al.*, 2003; Han et Baik, 2008; Candela *et al.*, 1980; EI-Nahry *et al.*, 1980), et c'est en faibles proportions (2% à 9,3%) que se trouvent d'autres glucides (monosaccharides et oligosaccharides) (Faris *et al.*, 2013; Bhatti et Christison, 1984).

3.2. Apport en énergie brute

La figure 24 représente les apports en énergie brute des farines testées.

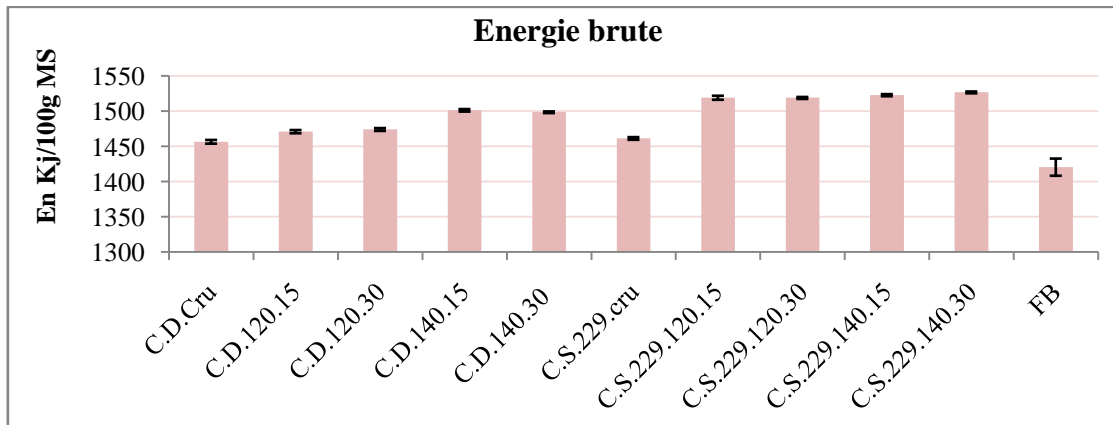


Figure 24: Apports en énergie brute des farines de blé, de lentilles crues et de lentilles torréfiées

L'énergie brute apportée par la FB (1420,5 Kj/100g MS) reste inférieure à celle des FLC (1459 Kj/100g MS), le traitement de torréfaction augmente significativement ($p < 0,05$) l'apport en énergie brute pour tous les échantillons, l'augmentation voit sa valeur maximale (1527 Kj/100g MS) à 140°C pendant 30 minutes pour le CS229. Cette augmentation est probablement attribuée aux modifications du contenu en protéines, lipides et glucides ainsi qu'à la diminution du taux d'humidité lors du traitement thermique.

3.3. Effet du traitement de torréfaction sur la teneur en polyphénols et en flavonoïdes

Le contenu en polyphénols totaux (CPT) et en flavonoïdes totaux (CFT) des CD et des CS229 pour les lentilles crues et torréfiées sont illustrées par la figure 25.

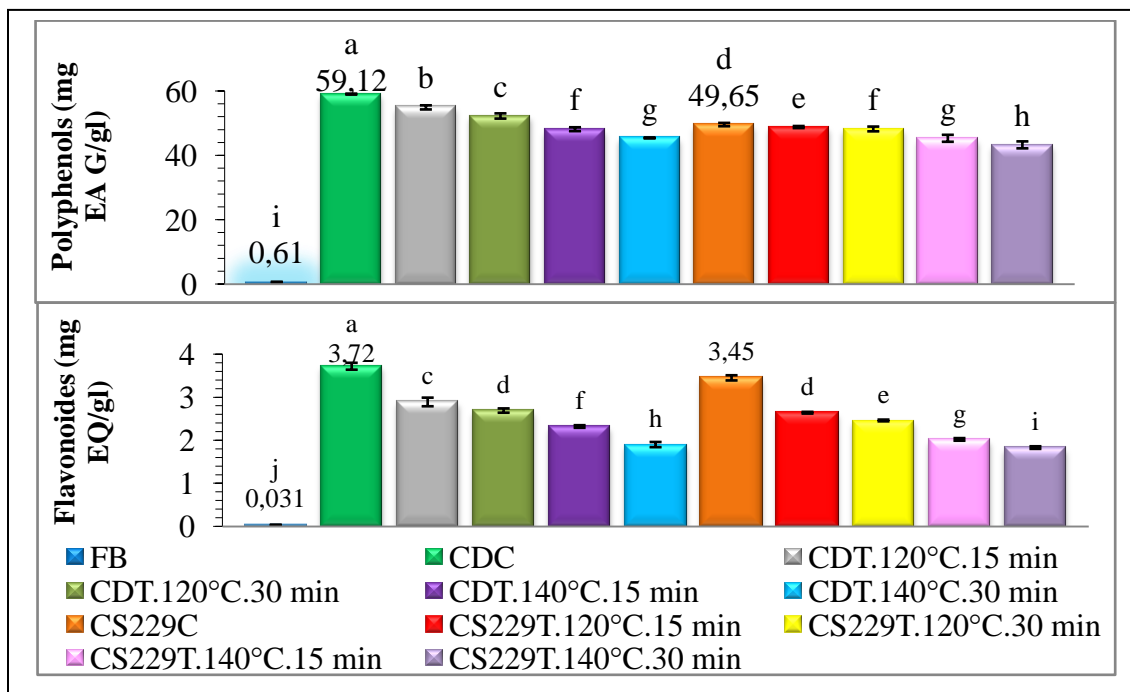


Figure 25: Contenu en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux des farines de blé, de lentilles crues et de lentilles torréfiées.

Les lentilles du CDC contiennent une concentration plus élevée ($P < 0,01$) en polyphénols (59,12 mg EAG/g) et en flavonoïdes (3,72 mg EQ/g) que celles du CS229 (49,65 mg EAG/g) et (3,45 mg EQ/g) respectivement. Comparée à la FL, la FB n'en possède que des traces (0,6 mg EAG/g de polyphénols) et (0,03 mg EQ/g de flavonoïdes). Les FLT à 140°C pendant 30 minutes affichent la plus faible teneur en polyphénols (44,42 mg EAG/g), et en flavonoïdes (1,89 mg EQ/g). L'analyse de la variance dévoile que le traitement thermique diminue de manière significative ($P < 0,01$) le CPT et le CFT; la perte en CPT atteint les 12,71% et 23,04%, tandis qu'environ la moitié du CFT (46,96 %) et (48,93%) respectivement pour le CD et le CS229 sont perdus au cours de ce traitement. Nos données sur le CPT sont supérieures à celles enregistrés par Torino et *al.*(2013) (30 mg EAG/g) et Alshikh et *al.*(2015) (21,54 mg EAG/g), par ailleurs Amarowicz et *al.*(2010) rapporte une teneur plus élevée (68 mg/g).

Le CFT était en bon accord avec celui rapportées par Zhang *et al.* (2018) (2,21 mg EQ/g). Cette variabilité du contenu phénolique pourrait être à l'origine des différents solvants et techniques d'extraction utilisées, Xu et Chang (2007) ont rapporté que l'acétone acide à 70% était le meilleur solvant pour l'extraction des composés phénoliques et des flavonoïdes des lentilles. Très peu d'études traitant l'effet de torréfaction sur la composition des graines de lentille sont disponibles. Cependant, les données sur l'effet des divers traitements thermiques (cuisson, extrusion, cuisson à la vapeur, cuisson au micro-ondes) sont extrapolables. Han et Baik (2008) ont signalé une réduction de 16 à 41% du CPT des lentilles par cuisson. Rathod et Annature (2016) ont également enregistré un changement considérable chez les lentilles extrudées (perte de 34% du CPT à 140°C et de 65% à 180°C), et accordent cette réduction au traitement thermique qui provoque la dégradation, les changements chimiques de ces molécules ou la formation de complexes insolubles. Yeo et Shahidi (2017) ont également signalé la diminution de 9,8 à 20,2% du CFT des lentilles. Ainsi, nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par la littérature.

3.4. Effet du traitement de torréfaction sur la teneur en facteurs antinutritionnels

Les teneurs en facteurs antinutritionnels (FAN) (phytates et tanins condensés) des lentilles crues et traitées et de la farine de blé sont illustrés par la figure 26.

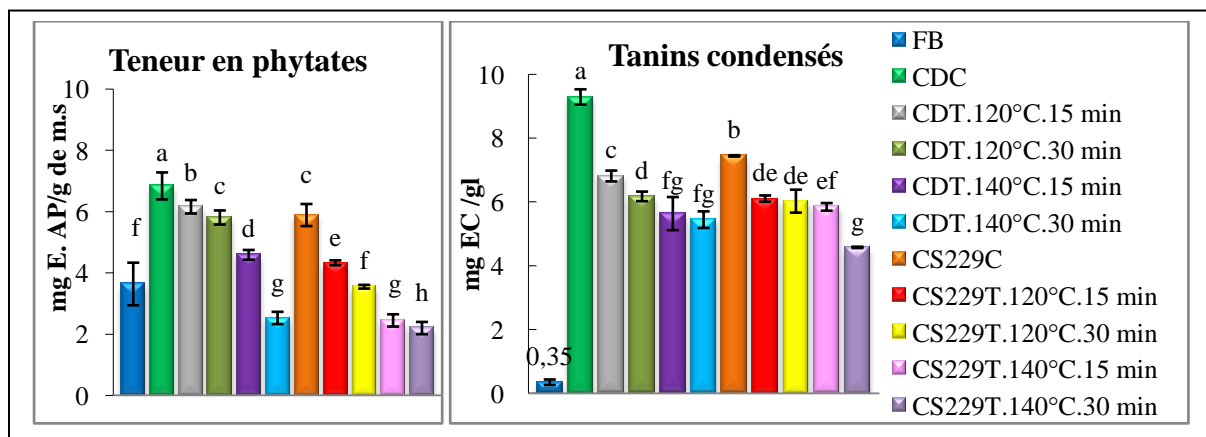


Figure 26: Contenu en tanins condensés et en phytates des farines de blé, des lentilles crues et des lentilles torréfiées.

L'analyse de la teneur en FAN montre une grande variabilité du taux des phytates et des TC dans les farines testées, la FB contient moins de phytates (3.64 mg E.AP/g de m.s) et de TC (0,35 mg EC/g) que la FL. Les données montrent que la torréfaction réduit significativement ($P < 0,01$) les niveaux d'acide phytique et des TC des lentilles. Les graines

crues renfermaient plus de phytates et de TC par rapport aux graines traitées; la teneur en phytates des graines crues était de 6,84 et 5,89 mg E.AP/gl de m.s pour le CD et le CS229 respectivement. La teneur en TC des lentilles crues était de 9,30 et 7,45 mg EC/gl pour le CD et le CS229 respectivement.

Quant au CPT et au CFT, la torréfaction à 140°C pendant 30 minutes élimine jusqu'à 63 et 41% des phytates et des TC initiales ; la réduction varie de 9,94 à 63,01% de la teneur totale en phytates pour le CD, et de 26,83 à 62,65% pour le CS229, elle varie de 26,67 à 41,41% du CTC pour le CD, et de 17,99 à 38,52% pour le CS229.

Nos résultats s'accordent avec ceux enregistrés par Casey *et al.* (2013) (3 à 11 mg E.AP/g de m.s) et Zhang *et al.* (2015) (3 à 7,8 mg EC/gl) dans les graines de lentilles crues.

De nombreux chercheurs soulignent la régression du niveau des phytates et des TC dans les graines de lentilles lors des traitements thermiques courants. Hefnawy *et al.* (2011) ont rapporté une réduction du CTC (46,04–49,10%) et en acide phytique (30,93–41,32%) par cuisson, et l'ont attribué à leur destruction thermique. Urbano *et al.* (1999) ont justifié la diminution de l'acide phytique à son hydrolyse thermique après chauffage sec des lentilles.

Des données de littérature soulèvent l'effet des méthodes de transformation sur la composition nutritionnelle et sur les FAN présents naturellement dans les graines de légumineuses (Wang *et al.*, 2009; Hefnawy, 2011; Costa, 2006; Porres, 2003; Han et Baik, 2008; Zhang *et al.*, 2014; Rathod et Annapure, 2016), de telles molécules qui limitent leur consommation sont responsables de la faible digestibilité des protéines et de la faible biodisponibilité des minéraux (Reddy *et al.*, 1984; Wang *et al.*, 2009).

Les traitements thermiques tels que la cuisson améliorent la qualité des protéines par la destruction ou l'inactivation des FAN thermolabiles (Vijayakumari *et al.*, 1998). Ainsi, nos résultats relèvent l'importance du processus de torréfaction à réduire les FAN des graines de lentilles améliorant leur valeur nutritionnelle.

3.5. Effet du traitement de torréfaction sur l'activité antioxydante

Les résultats de l'activité antioxydante des extraits de lentilles crues et torréfiées, et des extraits de la farine de blé, mesurés par les tests DPPH, ABTS et FRAP sont illustrés par le tableau 13.

Tableau 13: Activité antioxydante des FL crues et torréfiées et de la FB mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP

	Test d'évaluation de l'activité antioxydante					
	DPPH ^{NS} (CI50 en mg/ml)		ABTS ^{**} (CI50 en mg/ml)		FRAP ^{NS} (CI50 mg/ml) ^A	
	CD	CS229	CD	CS229	CD	CS229
FLC	4,2±0,02	4,91±0,01	1,14 ^f ±0,01	1,27 ^e ±0,04	0,17±0,001	0,23±0,03
FLT.120.15	4,47±0,03	5,57±0,01	1,35 ^{de} ±0,04	1,37 ^{cde} ±0,05	0,21±0,004	0,28±0,005
FLT.120.30	5,39±0,01	5,85±0,03	1,41 ^{cde} ±0,05	1,43 ^{cd} ±0,14	0,24±0,005	0,28±0,04
FLT.140.15	5,7±0,03	6,08±0,02	1,48 ^{bcd} ±0,07	1,53 ^{bc} ±0,07	0,25±0,02	0,29±0,09
FLT.140.30	6,17±0,04	8,31±0,07	1,58 ^b ±0,05	1,59 ^b ±0,07	0,27±0,005	0,30±0,07
FB	151,7±8,70		8,69 ^a ±0,18		24,32±1,33	
Trolox^B	0,06±0,001		0,04±0,01		0,008±0,0001	
Acide ascorbique^C	0,72±0,004		0,43±0,002		0,05±0,001	

Les résultats sont exprimés en moyenne suivie de l'ecartype; **: L'interaction des deux facteurs fl*f2 (traitement*type de farine) présente un effet hautement significatif (p<0,05); NS: L'interaction des deux facteurs fl*f2 (traitement*type de farine) présente un effet non significatif (p>0,05); **a,b,c,d,e,f** : comparaison statistique des moyennes; **FLC**: Farine de lentilles crues, **FLT.120.15**: Farine de lentilles torréfiées à 120°C pendant 15 minutes, **FLT.120.30**: Farine de lentilles torréfiées à 120°C pendant 30 minutes, **FLT.140.15**: Farine de lentilles torréfiées à 140°C pendant 15 minutes, **FLT.140.30**: Farine de lentilles torréfiées à 140°C pendant 30 minutes, **FB**: farine de blé, **CI50**: Concentration inhibitrice de 50% du radical DPPH ou ABTS, **A**: Concentration de l'extrait nécessaire à la réduction du radical FRAP à moitié (pouvoir antioxydant réducteur ferrique), **B**: Trolox comme contrôle positif, **C**: Acide ascorbique comme contrôle positif.

L'activité antioxydante d'un extrait analysé est inversement proportionnelle à sa concentration inhibitrice de 50% du radical libre; Des CI50 supérieurs indiquent une faible activité antioxydante. D'après le tableau 13, les standards exhibent un pouvoir antioxydant nettement supérieur à celui des FL et de la FB; de très faibles concentrations d'acide ascorbique (0,72, 0,43 et 0,05 mg/ml) et de Trolox (0,06, 0,04 et 0,008 mg/ml) sont enregistrées pour la neutralisation de la moitié des radicaux libres (DPPH, ABTS et FRAP) respectivement. D'après l'analyse de la variance, les deux cultivars de *Lens culinaris* affectent significativement (p<0,05) l'activité antioxydante des échantillons. Les données révèlent une activité antioxydante intéressante chez les cultivars non torréfiés, avec des valeurs de CI50

inférieures à 4,92 et 1,28 mg/ml suivant les tests DPPH et ABTS respectivement, garantissant un potentiel antioxydant élevé et démontrant que les lentilles servent d'aliment antioxydant. Le test FRAP révèle également un pouvoir réducteur ferrique très fort chez les lentilles crues (0,23 mg/ml). Cependant, nous avons enregistré une régression significative ($p < 0,01$) de la capacité antioxydante des échantillons traités (réduction de 06-69%, 07-38% et 21-58% suivant les tests DPPH, ABTS et FRAP respectivement); de faibles niveaux d'activité antioxydante ont été notés pour tous les échantillons torréfiés, la faiblesse était plus prononcée pour les graines torréfiées à 140°C pendant 30 minutes, en particulier pour le CS229. Comparé aux autres traitements testés, la torréfaction à 140°C pendant 30 min provoque une grande perte d'antioxydants, ce qui révèle son invalidité comme procédé de torréfaction pour les graines de lentilles.

D'autre part, l'extrait de la FB exhibe de grandes valeurs de CI50 (DPPH: 151,7, ABTS: 8,69 mg/ml, et FRAP: 24,8 mg/ml) (Tableau 13), signalant une activité antioxydante abaissée, et indiquant un faible pouvoir réducteur ferrique de la FB. Cela pourra être justifié par son pauvre contenu en composants bioactifs.

D'après les tests d'évaluation, l'activité antioxydante la plus puissante a été notée chez le CDC, cela concorde avec le fait que ce cultivar possède également les CPT, CFT et CTC les plus élevés. Notre étude confirme la diminution du pouvoir antioxydant après traitement thermique des aliments, l'affaiblissement de la capacité antioxydante des graines torréfiées pourra être attribué à la perte des molécules bioactives thermosensibles.

Les propriétés réductrices des antioxydants dans l'échantillon se manifestent par la rupture de la chaîne des radicaux libres par le don d'un atome d'hydrogène (Bothon et *al.*, 2013). Les composants phénoliques, les flavonoïdes et les tannins agissent comme des antioxydants en inhibant l'initiation ou la propagation de réactions en chaîne oxydantes et retardent l'oxydation de divers composés vitaux (Amarowicz, 2010). Il a été démontré que la présence de groupements hydroxyles des flavonoïdes contribuent à leur interaction avec les radicaux libres comme antioxydant potentiel (Chang et *al.*, 2002). Ainsi, on assiste à une réduction de la capacité antioxydante suite à la diminution de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes des échantillons sous traitement thermique (Xu et Chang, 2008; Zhang et *al.*, 2014).

De nombreuses études affirment que les téguments des graines de légumineuses renferment un groupe de composés polyphénoliques constitués en majeure partie de tanins

condensés (Amarowicz, 2009; Wang et al., 2009), l'activité antioxydante des tanins est strictement liée à leur structure chimique (Okuda et al., 1989; Peng et Jay-Allemand, 1991). Ainsi, en dépit de leurs propriétés antinutritionnelles liées à la diminution de la digestibilité des protéines, les niveaux des tanins condensés approuvés pour les extraits des lentilles étudiées, leur confère une activité biologique et renforcent leurs capacité antioxydante.

3.6. Analyse statistique de la corrélation

Pour analyser les relations corrélatives entre l'activité antioxydante totale (DPPH, ABTS et FRAP) et le CPT, en FT et en TC, une analyse de corrélation de Pearson a été réalisée (Tableau 14). Des corrélations hautement significatives ont été enregistrées entre les contenus phyto-chimiques ($p < 0,001$).

Tableau 14: Coefficients de corrélation de Pearson (R^2) entre l'activité antioxydante et le contenu phyto-chimique des farines de lentilles.

	CPT	CFT	DPPH	ABTS	FRAP	CTC
CPT	1	0,849***	-0,853***	-0,774***	-0,837***	0,864***
CFT		1	-0,817***	-0,883***	-0,853***	0,920***
DPPH			1	0,737***	0,915***	-0,826***
ABTS				1	0,725***	-0,848***
FRAP					1	-0,809***
CTC						1

***Corrélations significativement différentes de zéro ($P < 0,001$) ; **CPT**: contenu en polyphénols totaux; **CFT**: contenu en flavonoïdes totaux; **DPPH**: activité antioxydante mesurée par le test DPPH; **ABTS**: activité antioxydante mesurée par le test ABTS; **FRAP**: activité antioxydante mesurée par le test FRAP; **CTC**: contenu en tanins condensés.

Une corrélation significative a été obtenue entre le CTC et tous les paramètres testés ($P < 0,001$), la bonne corrélation enregistrée entre le CTC et le CFT ($R^2 = 0,92$), le CTC et le CPT ($R^2 = 0,864$), le CTC et les tests DPPH ($R^2 = -0,826$), ABTS ($R^2 = -0,848$) et FRAP ($R^2 = -0,809$) suggère que le CTC contribue à la formation de polyphénols et des flavonoïdes totaux des lentilles, ainsi qu'à leur pouvoir antioxydant. Les trois tests d'évaluation de l'activité antioxydante montrent une bonne corrélation, les tests FRAP et DPPH en affichent la meilleure ($R^2 = 0,915$), les radicaux libres DPPH, ABTS et FRAP agissent d'une manière semblable en assurant l'arrachement d'un seul électron de l'antioxydant, ce qui est à l'origine d'une forte corrélation positive entre ces tests d'activité antioxydante. Globalement, la forte corrélation entre le contenu bioactif (polyphénols, flavonoïdes et tanins) et les tests DPPH ($R^2 = -0,853$, $R^2 = -0,817$ et $R^2 = -0,826$), ABTS ($R^2 = -0,774$, $R^2 = -0,883$ et $R^2 = -0,848$) et FRAP

de torréfaction sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels de la farine de lentilles

($R^2 = -0,837$, $R^2 = -0,853$, et $R^2 = -0,809$) respectivement, confirme leur rôle de neutralisation des radicaux libres, et démontre que les lentilles constituent une source d'antioxydants naturels.

3.7. Evaluation des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles

Le tableau 15 rassemble les propriétés fonctionnelles des farines étudiées (FB et FL).

Tableau 15: Propriétés fonctionnelles des farines de lentilles et de la farine de blé

Echantillons	CAE** (ml/g)	CAH** (ml/g)	CM ^{NS} (%)	SM** (%)	CE** (%)	CMG** (%)
FB	0,80 ±0,00 ^b	0,98 ±0,05 ^{abcde}	47,5 ±13,49	20,00 ±14,14 ^{cd}	38,33 ±3,33 ^c	20 ±0,00 ^c
CDC	1,60 ±0,2 ^a	1,43 ±0,15 ^a	170 ±8,17	115 ±17,32 ^a	53,33 ±0,00 ^a	45,00 ±0,00 ^b
CDT.120.15min	1,61 ±0,16 ^a	1,35 ±0,06 ^{ab}	150 ±16,33	80,00 ±14,5 ^b	46,67 ±0,00 ^b	45,00 ±0,00 ^b
CDT.120.30min	1,68 ±0,14 ^a	1,28 ±0,32 ^{abc}	142,5 ±5,00	67,5 ±12,17 ^b	46,67 ±0,00 ^b	45,00 ±0,00 ^b
CDT.140.15min	1,65 ±0,15 ^a	0,95 ±0,06 ^{bcde}	130 ±14,50	65,00 ±12,91 ^b	46,00 ±0,00 ^c	45,00 ±0,00 ^b
CDT.140.30min	1,55 ±0,17 ^a	0,8 ±0,08 ^{de}	110 ±11,55	52,5 ±5,00 ^{bc}	40,67 ±0,00 ^b	50,00 ±0,00 ^a
CS229C	1,60 ±0,3 ^a	1,25 ±0,53 ^{abcd}	160 ±18,26	122,5 ±17,08 ^a	46,67 ±0,00 ^b	45,00 ±0,00 ^b
CS229T.120.15min	1,68 ±0,05 ^a	1,18 ±0,15 ^{abcd}	137,5 ±19,24	77,5 ±10,96 ^b	45,00 ±3,33 ^b	45,00 ±0,00 ^b
CS229T.120.30min	1,85 ±0,06 ^a	1,15 ±0,1 ^{abcd}	102,5 ±20,62	55,00 ±5,77 ^{bc}	41,67 ±3,33 ^{bc}	45,00 ±0,00 ^b
CS229T.140.15min	1,55 ±0,28 ^a	0,85 ±0,1 ^{cde}	102,5 ±13,04	52,5 ±14,034 ^{bc}	40,00 ±0,00 ^c	45,00 ±0,00 ^b
CS229T.140.30min	1,50 ±0,17 ^a	0,60 ±0,12 ^e	47,5 ±5,00	0,00 ±0,00 ^d	38,33 ±3,33 ^c	50,00 ±0,00 ^a

Les résultats sont exprimés en moyenne suivie de l'ecartype; **: L'interaction des deux facteurs fl*f2 (traitement* type de farine) présente un effet hautement significatif ($p < 0,01$); NS: L'interaction des deux facteurs fl*f2 (traitement*type de farine) présente un effet non significatif ($p > 0,05$); **a,b,c,d,e**: comparaison statistique des moyennes; **CAE**: Capacité d'absorption d'eau; **CAH**: Capacité d'absorption d'huile; **CM**: Capacité moussante; **SM**: Stabilité moussante; **CE**: Capacité émulsifiante; **CMG**: Concentration minimale de gélification; **CDC**: Cultivar Dahra Cru; **CDT**: Cultivar Dahra Torréfié (à 120°C pendant 15 ou 30 min, à 140°C pendant 15 ou 30 min); **CS229C**: Cultivar Syrie 229 Cru; **CS229T**: Cultivar Syrie 229 Torréfié (à 120°C pendant 15 ou 30 min, à 140°C pendant 15 ou 30 min).

La compréhension des propriétés fonctionnelles (tell que CAE ,CAH, CM, SM, CE, et la CMG) des ingrédients alimentaires contribue à l'amélioration des exigences de transformation, et par conséquent à l'optimisation de leur application pour le développement de divers produits alimentaires. Les propriétés fonctionnelles sont influencées par les

composants de la matière alimentaire, en particulier les glucides, les protéines, les lipides, l'humidité, les fibres, les cendres et leurs structures dans la farine.

La CAE est la quantité d'eau absorbée par la farine pour atteindre la consistance souhaitée et créer un produit alimentaire de qualité. Sa détermination est importante pour la consistance, la manipulation et la cuisson des pâtes alimentaires (Iwe et *al.*, 2016).

Nos résultats démontrent une similarité de la CAE pour les deux FLC (1,60ml/g), celle du blé diminue de moitié (0,8 ml/g). Une augmentation hautement significative ($p < 0,01$) de la CAE (de 5 et 14%) est observée chez les FLT à 120°C pendant 30 minutes, la torréfaction à 140°C pendant 15 et 30 min la diminue de 6 et 3% respectivement pour le CS229 et le CD (Tableau 15).

L'élévation de la CAE notée aux premiers traitements de torréfaction (à 120°C pendant 15 et 30 minutes) revient à la perte en humidité des échantillons lors de ce processus, ce qui augmente davantage leur absorption d'eau. Sreerama et *al.* (2012) attribuent la CAE élevée à de nombreux composants hydrophiles contenus dans les aliments tels que les glucides (en particulier les polysaccharides comme l'amidon), les protéines, en particulier les résidus d'acides aminés polaires, qui ont une grande affinité pour les molécules d'eau, et d'autres constituants hydrophiles.

L'augmentation de la CAE a été signalée également par Ettoumi et Chibane, (2015) pour les FL, de pois et de pois chiche maintenus à 25, 50 et 75°C. Cet effet s'installe suite à une dénaturation des protéines et d'amidon. Grâce à des liaisons hydrogènes, les molécules d'eau se lient aux groupements hydroxyles exposés de l'amylose et de l'amylopectine et améliorent la CAE (Singh, 2011; Ettoumi et Chibane, 2015).

La CAH pour les FLC du CD (1,43 ml/g) et du CS229 (1,25 ml/g) présente des valeurs supérieures à celle de la FB (0,98 ml/g). la CAH diminue significativement ($p < 0,01$) en augmentant durée et température de torréfaction, elle réduit de moitié (52%) à 140°C pendant 30 min pour le CS229, sa baisse atteint les 44% pour le CD durant le même traitement. Ces résultats sont en accord avec celles trouvées par Ma et *al.* (2011) qui notent une tendance de diminution de la CAH chez les pois jaunes décortiqués et lentilles vertes après torréfaction.

Les farines à haute CAH sont recommandées pour l'amélioration de l'appétence, l'extension de la durée de conservation, la sensation en bouche et la rétention de la saveur

dans les produits de boulangerie où l'absorption des graisses est souhaitable (Chandra et *al.*, 2015; Iwe et *al.*, 2016; Suresh, 2013).

Le taux d'absorption d'huile augmente dans les aliments à haute teneur en protéines, cela est en accord avec les teneurs en protéines de nos échantillons; les farines à faible teneur en protéines (FLT et FB) témoignent des CAH inférieurs. En outre, la CAH est affectée par les propriétés à la fois hydrophobes et hydrophiles des protéines. Jitngarmkusol et *al.* (2008) rapportent que les chaînes latérales non polaires des acides aminés peuvent former des interactions hydrophobes avec les chaînes hydrocarbonées des lipides. Nos résultats sur la CAH indiquent la présence de sites d'interaction hydrophobes (ayant une affinité à l'huile) dans les FLC comparées à la FB, celle-ci possède une faible teneur en lipides (0,46%) et en protéines (11,28%) (peu de sites d'interaction hydrophobes) qui réduit les interactions Huile-FB et diminue par conséquent sa CAH.

La régression de la CAE et de la CAH peut être justifiée par le changement de facteurs intrinsèques tels que la modification de la conformation des protéines, la composition en acides aminés et la polarité ou l'hydrophobie de la surface (Suresh, 2013). Ces modifications sont induites par le traitement thermique appliqué (torréfaction relativement élevée des graines de lentilles). Thapon et Bourgeois (1994) rapportent que la chaleur provoque une dénaturation des protéines dont l'étendue dépend de la température et de la durée de chauffage, cela suggère même une destruction thermique des molécules hydrophobes et hydrophiles responsables à l'absorption d'eau ou d'huile dans les farines testées.

La CM, la SM et la CE des farines de lentilles crues affichent des valeurs moyennes intéressantes (165, 119 et 50% respectivement). En torréfiant à 140°C pendant 30 min, ces valeurs diminuent de 70 et 35%, de 55 et 100%, et de 24 et 18% respectivement pour le CS229 et le CD. Les valeurs de la CM, la SM et la CE des FL sont supérieures à celles reportées par Kohajdová et *al.* (2013) (34, 22 et 32% respectivement).

La CM est mesurée comme la surface interfaciale créée en fouettant l'aliment ou la farine. La stabilité de la mousse est une mesure du temps nécessaire pour perdre le volume de la mousse formée (Mauer, 2003).

De bonnes capacité et stabilité moussante sont souhaitées pour les farines de boulangerie (El-Adawy, 2001). Ces deux propriétés fonctionnelles dépendent du film interfacial formé par les protéines, qui maintient la suspension des bulles d'air et ralentit la vitesse de coalescence (Mauer, 2003). Une dénaturation thermique extensive des protéines,

des répulsions électrostatiques insuffisantes et des interactions excessives entre les molécules de protéines affaiblissent leur CM (Appiah et *al.*, 2011).

La CE est la capacité des protéines à diffuser à l'interface huile-eau et à développer simultanément des interconnexions avec l'eau et les acides aminés hydrophiles et l'huile avec des acides aminés hydrophobes (Ashraf et *al.*, 2012)

Nos résultats sur la CE des cultivars non traités sont comparables à celles du pois chiche (48%) et du niébé (53%) rapportés par Sreerama et *al.*(2012), et se reprochent à celles des haricots rouges 55% et noirs 45% enregistrés par Siddiqui et *al.*(2010).

L'augmentation de la CE pourrait être due à la dissociation et au dépliement partiel des protéines globulaires, conduisant à l'exposition de résidus d'acides aminés hydrophobes, et à l'augmentation de l'activité de surface et de l'adsorption au niveau de l'interface huile/eau (Kohajdová et *al.*, 2011b; Ma et *al.*, 2011; Sreerama et *al.*, 2012). La régression de la CE des farines de lentilles torréfiées a été également signalée par Ma et *al.* (2011) pour des farines de lentilles rouges torréfiées (80°C/1min) ou cuites (90°C/20 min). Parallèlement à la capacité et stabilité moussante, la CE est étroitement liée à la coformation chimique des protéines dans l'aliment, sa diminution pourrait être accordée à une dénaturation thermique des molécules protéiques limitant leur diffusion à l'interface huile/eau.

La CMG est un indicateur de la capacité de gélification des protéines alimentaires (Boye et *al.*, 2010a), une faible CMG signifie une meilleure capacité de gélification.

La CMG des farines de lentilles non traitées (45%) augmente de 10% après un traitement de torréfaction de 30 min à 140°C pour les deux cultivars testés, les autres traitements ne l'affectent pas, cela correspond à l'affaiblissement du pouvoir gélifiant des FL après torréfaction.

Le pouvoir gélifiant de nos farines de lentilles est quatre fois plus faible (45%) que celui des graines de lin (10%) enregistrées par kaur et *al.* (2017). Les données de littérature rapportent des valeurs de CMG inférieurs pour les lentilles et les pois (12%) (Etoumy et Chibane, 2015), les lentilles vertes et rouges crues et torréfiées (20%) (Ma et *al.*, 2011), et les haricots (12%) Siddiqui et *al.*, 2010), cette variabilité est principalement due aux conditions utilisées pour les traitements thermiques des échantillons testés.

4. Conclusion

La présente étude montre le rôle du processus de torréfaction dans la réduction des teneurs initiales en phytates et en tanins condensés, à des niveaux inférieurs pouvant atteindre les 37% et 59% respectivement, indiquant l'élimination d'une grande partie des molécules antinutritionnelles, connues pour leur effet inhibiteur de protéase, et l'amélioration de la biodisponibilité des protéines et minéraux présents dans une légumineuse aussi riche.

Cependant, une diminution de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes, associée par conséquent à une régression de l'activité antioxydante a été confirmée par les tests DPPH, ABTS et FRAP pour toutes les graines torréfiées. Au regard des échantillons ayant perdu plus de facteurs antinutritionnels (phytates et tanins condensés), mais peu de leur pouvoir antioxydant; les procédés de torréfaction à 140°C pendant 15 min et à 120°C pendant 30 min, respectivement pour les cultivars Dahra et Syrie 229, semblent être les traitements thermiques les plus appropriés, réduisant plus de FAN, et préservant un maximum de composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes) responsables de leur pouvoir antioxydant.

Comparé au CS229, le CD manifeste une sensibilité au processus de torréfaction, se traduisant par la perte d'éléments bioactifs sans autant perdre de pouvoir antioxydant, cela fait appel à des analyses complémentaires, pour mieux définir le profil en composés phénoliques et en flavonoïdes des variétés testées et d'autres cultivées en Algérie. En parallèle, des analyses complémentaires sont indispensables pour identifier le profil minéral et en acides aminés des lentilles, ainsi que l'effet du processus de torréfaction sur leur biodisponibilité et digestibilité in vitro et in vivo.

L'analyse des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles dévoile une importance technologique valorisante, offrant un potentiel de transformation agro-industriel important.

Enfin, les résultats indiquent que la farine de lentilles torréfiées peut être le bon candidat pour être utilisée comme recette culinaire, et comme matière première industrielle pour la production d'aliments de boulangerie innovante à valeur nutritionnelle améliorée. Le procédé proposé est simple et économique, ce qui pourrait être d'un grand intérêt lorsqu'il est appliqué pour l'industrie alimentaire. En outre, la farine de lentilles torréfiées pourra servir de supplément lors de la production d'aliments pour les personnes intolérantes au gluten.

Étude III.

Effet de la

substitution de la

farine de blé par la

farine des lentilles

cruées et torréfiées sur

la qualité du biscuit

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torréfiées sur la qualité du biscuit**Etude III. Effet de la substitution de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torréfiées sur la qualité du biscuit****1. Matériel****1.1. Matières premières**

L'étude précédente a permis de sélectionner deux traitements de torréfaction pour les variétés étudiées (la torréfaction à 120°C pendant 30 minutes, et à 140°C pendant 15 minutes, respectivement pour les cultivars Dahra et Syrie 229). Ainsi, les farines de lentilles obtenues ont servi de matières premières pour la fabrication du biscuit de lentilles (BL), la figure 27 résume les étapes de préparation des farines de lentilles.

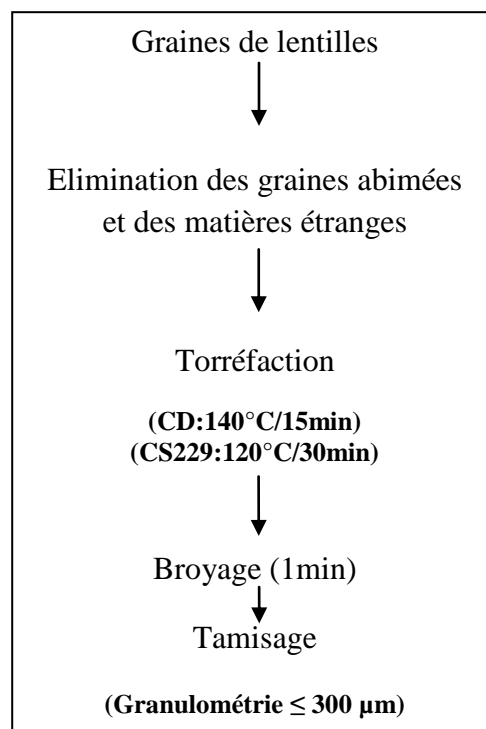


Figure 27 : Diagramme de fabrication des farines de lentilles



Figure 28: Farine de lentilles (FL) et Farine de blé (FB)

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torréfiées sur la qualité du biscuit**1.2. Formulations des farines pour la fabrication de biscuit de lentilles**

La substitution de la farine de blé tendre (FB: *Triticum aestivum*) par la farine de lentilles (FL) était de l'ordre de 25%, 50%, 75% et 100%, avec comme formulation contrôle la farine de blé sans ajout de farine de lentilles (Tableau 16).

Tableau 16: Ingrédients utilisés pour la fabrication des biscuits

Ingrédients (g)	BB	FLC ou FLT par substitution de la FB			
FB	100	75	50	25	0
FL	0	25	50	75	100

FB: farine de blé; **FL:** farine de lentilles; **BB:** biscuit de blé; **FLC:** farine de lentilles crues; **FLT:** farine de lentilles torréfiées.

2. Méthodologie**2.1. Fabrication des biscuits**

Les ingrédients secs (mélange de farine, sel (0,8 g), levure chimique (1,2g), et graisse végétale (30g)) sont placés dans le pétrin, puis mélangés pendant 1 minute à une température ambiante de $22 \pm 2^\circ\text{C}$, l'eau (60-70 ml) est ensuite ajoutée aux ingrédients pour ramasser le mélange et obtenir une pâte homogène non collante entre les doigts. La pâte formée est étalée à une épaisseur de 0,5 cm puis découpée en petits morceaux à l'aide d'un moule circulaire de 4,5 cm de diamètre. Les biscuits obtenus sont cuits dans un four électrique à 200°C pendant 12 minutes. Les biscuits obtenus (figure 30) sont laissés refroidir à la température ambiante pendant 30 min. Les biscuits destinés aux différentes analyses chimiques ont été broyés et stockés à l'obscurité (4°C) dans des bocaux hermétiques.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

La figure 29 illustre les étapes de fabrication des biscuits.

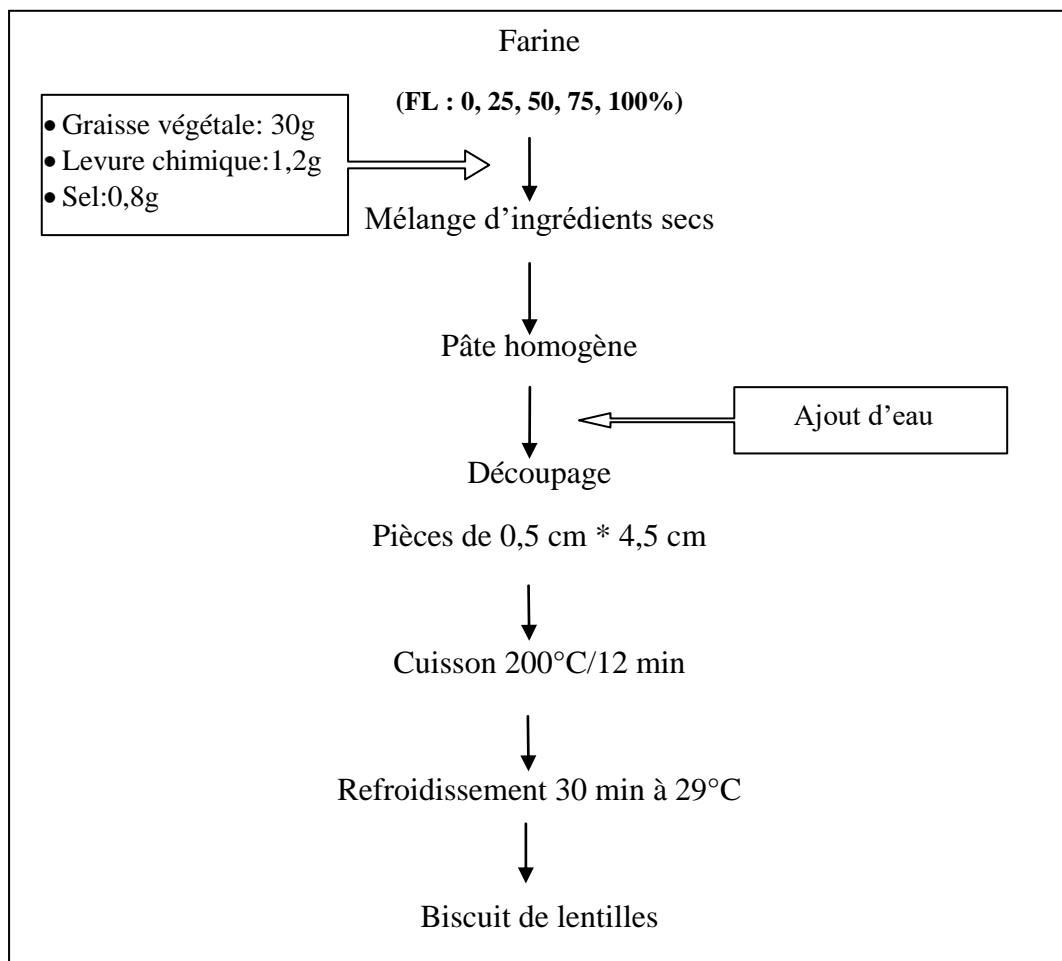


Figure 29 : Diagramme de fabrication du biscuit de lentilles à différentes formulations

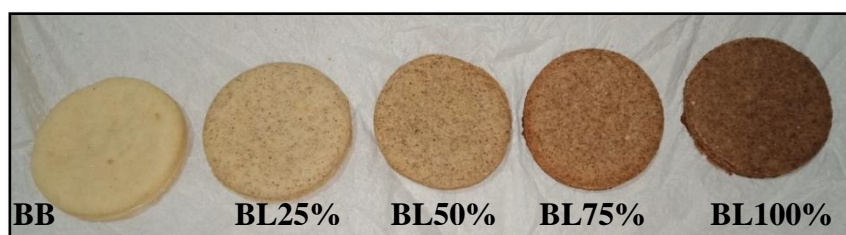


Figure 30: Biscuits à différents taux d'incorporation de farine de lentilles

2.2. Analyses chimiques des biscuits fabriqués

Pour préparer les échantillons aux analyses, nous avons broyé les biscuits à l'aide d'un broyeur électrique, la poudre obtenue a fait l'objet d'analyse de la composition globale, des composés phyto-chimiques, des facteurs antinutritionnels, et de l'activité antioxydante des

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

biscuits. La même méthodologie analytique des farines testées (étude expérimentale 2) a été appliquée sur les poudres de biscuits.

2.3. Analyse sensorielle des biscuits

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 : goût, arrière-goût, texture, couleur, odeur, flaveur, croustillance, et caractère apéritif. La salle de dégustation était bien équipée avec un bon éclairage, une bonne circulation d'air et exempte de toute odeur étrange. Le panel des dégustateurs est constitué de 12 personnes, de sexe masculin et féminin. 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.

- 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 et se rincer la bouche avec une gorgée d'eau. Les échantillons de biscuit sont présentés dans des assiettes 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.

2.4. Analyse statistique

Les résultats générés dans ce travail sont exprimés en moyenne \pm écart-type de quatre répliques indépendantes. La signification statistique des données a été obtenue à travers une analyse de variance (ANOVA). Les résultats ont fait l'objet d'une analyse multifactorielle (facteur 1: traitement thermique appliqué, facteur 2: variété de lentilles étudiée, et facteur 3: taux d'incorporation de la FL). Le niveau de signification des valeurs moyennes a été attribué à $p < 0,05$.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torréfiées sur la qualité du biscuit

3. Résultats

3.1. Composition chimique globale du biscuit

Les résultats de la composition chimique des biscuits de lentilles (BL) révèlent un effet hautement significatif ($p < 0,01$) du traitement appliqué, de la variété et du taux d'incorporation de la FL sur la teneur en cendres. Par contre, les protéines, les lipides, les sucres solubles, sucres réducteurs, taux d'humidité et énergie brute ne sont pas significativement affectés par ces facteurs ($p > 0,05$).

3.1.1. Teneur en protéines

L'incorporation de la FL induit une augmentation des teneurs protéiques (3, 5, 6 et 7 fois plus supérieure à celles du BB), respectivement pour les biscuits dont le taux d'incorporation est 25, 50,75 et 100% de FL. Cela reflète la richesse des graines de lentilles en protéines. Comparés aux biscuits de lentilles crues (BLC), les biscuits de lentilles torréfiées (BLT) exhibent une légère augmentation (CD: +10 à +24% ,CS229: +2 à +9%) de la teneur protéique.

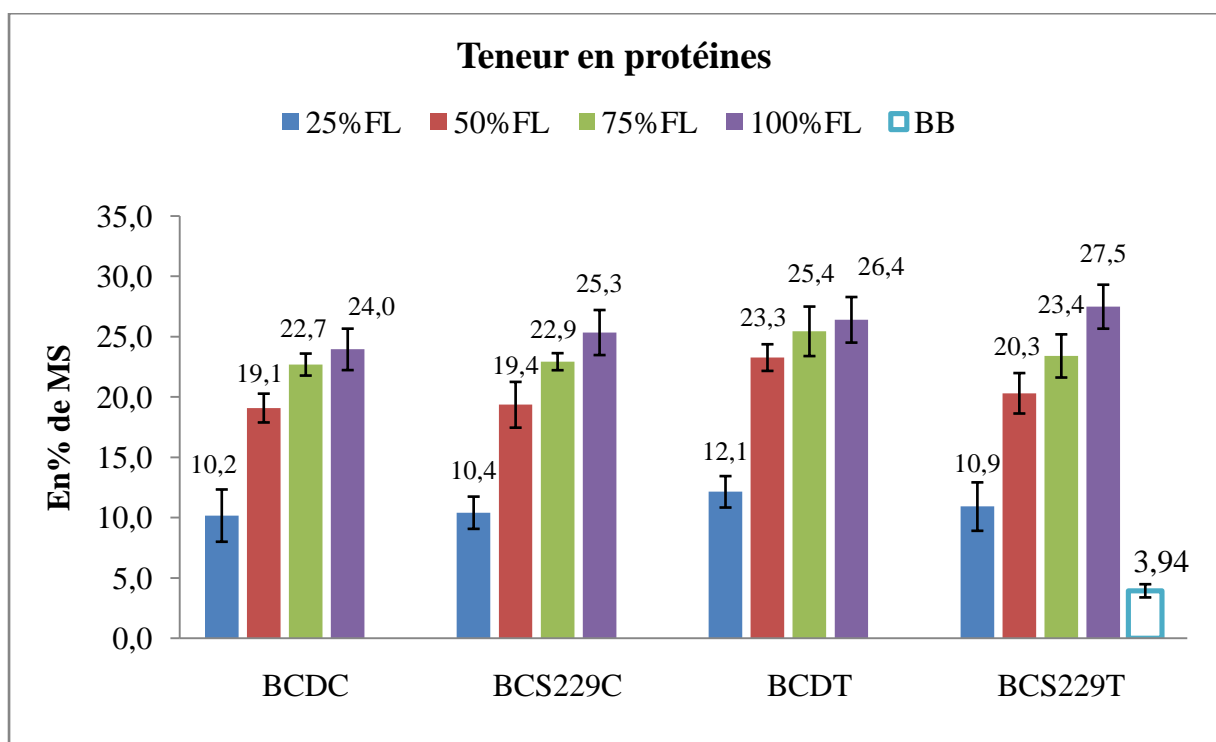


Figure 31: Teneurs protéiques du biscuit de blé (BB) et des biscuits de lentilles de différentes formulations

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit**3.1.2. Teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs**

Les contenus en sucres solubles et en sucres réducteurs progressent (+3 à +76 %, et +30 à +195% respectivement) avec l'ajout de la FL. Par comparaison à la FLC, l'utilisation de la FLT diminue (BCDT : -2 à -35% et BCS229T : -4 à -33%) les niveaux des sucres solubles des biscuits (baisse plus marquante à 25 et 50% de FLT), et provoque une élévation de la teneur en sucre réducteur (BCDT: +1 à +27% et BCS229T: +17 à +71%).

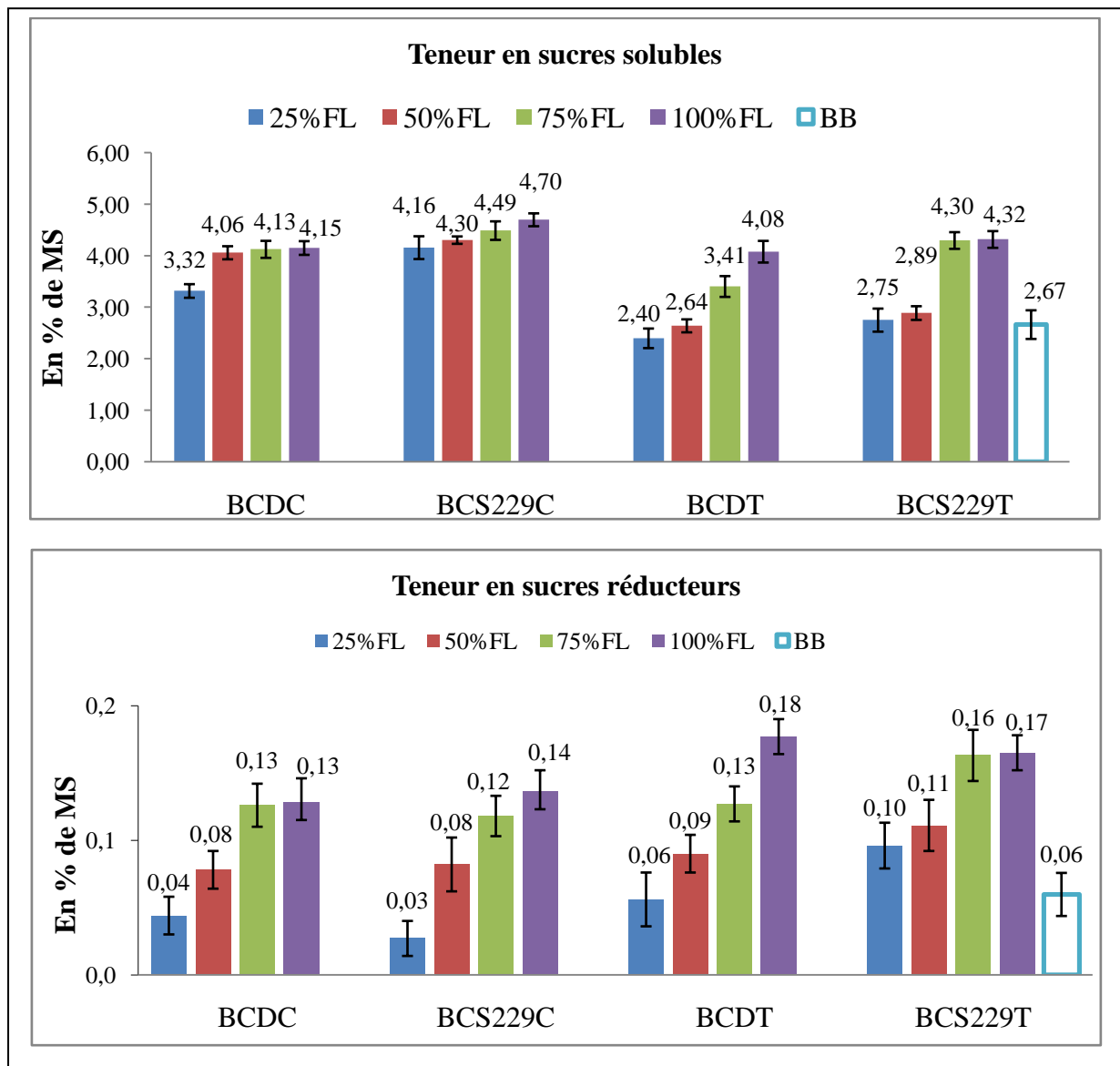


Figure 32: Teneur en sucres solubles et en sucres réducteurs du biscuit de blé (BB) et des biscuits de lentilles de différentes formulations

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit**3.1.3. Teneur en lipides totaux**

Le contenu lipidique des biscuits étudiés est représenté par la figure ci-dessous. Le contenu en lipides totaux varie de 13,9 à 17,5% chez les BL, celui du BB affiche une valeur comparable de 13,2%. Les niveaux des lipides totaux signalent une grande variabilité en fonction du taux d'incorporation de la FL. Globalement, l'utilisation de la FL induit une légère augmentation (+5,4 à +32,2%) de la teneur lipidique, les teneurs supérieures (15,9 à 17,5%) sont enregistrées chez les biscuits contenant 25% de FL, sauf pour le BCS229T qui présente une teneur lipidique élevée de 16,5% à 75% FL.

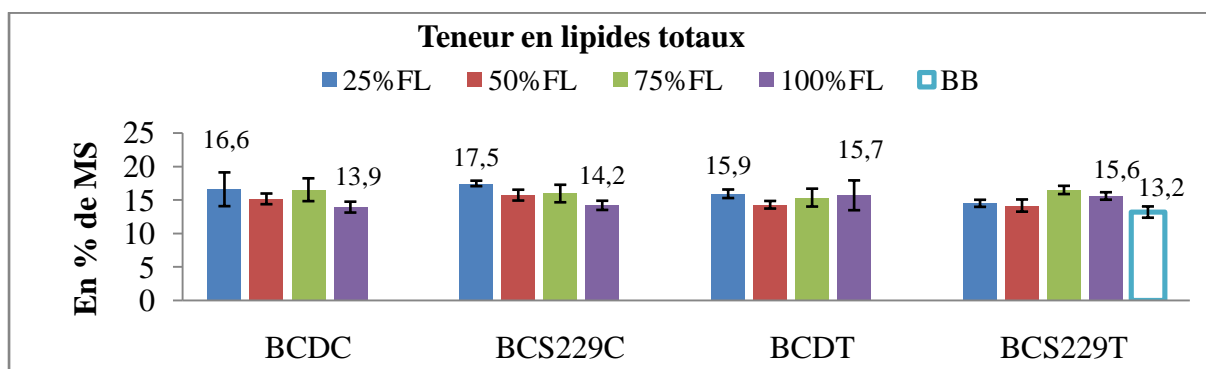


Figure 33: Teneurs en lipides totaux du biscuit de blé et des biscuits de lentilles de différentes formulations

3.1.4. Apport en énergie brute

La figure 33 représente les apports en énergie brute des biscuits fabriqués. L'apport énergétique fourni par les BL dépasse celui du BB (+1,31 à +3,73 %) ($p > 0,05$), comparée à la FLC, l'utilisation de la FLT induit une légère diminution de l'énergie totale: (CD: -1,93 à -3,18%, CS229: -1,94 à -5,46%). Seules les BCS229T à 75 et 100% de FLT qui exhibent une augmentation négligeable de l'apport énergétique de l'ordre de 0,65 et 1,66% respectivement.

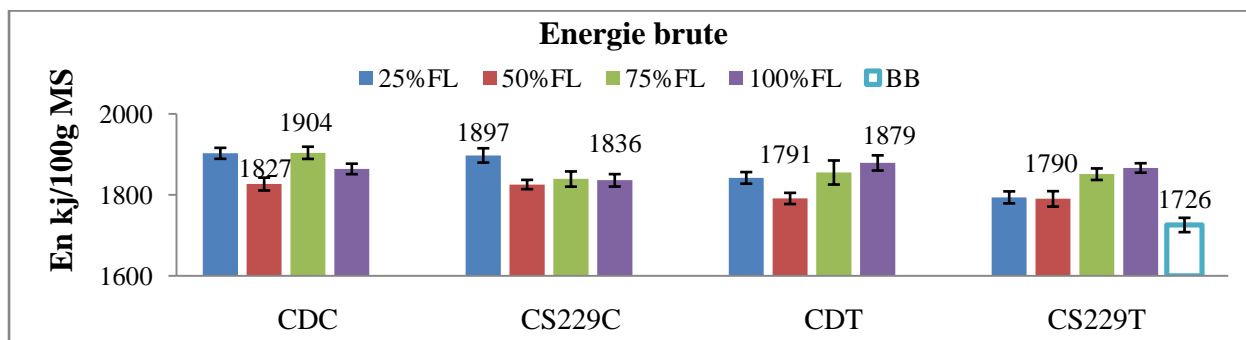


Figure 34: Apports en énergie brute des différents biscuits

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit**3.1.5. Taux d'humidité et de cendres**

Les résultats montrant la teneur en cendres et le taux d'humidité des échantillons de biscuits sont présentés par la figure 34, elles signalent une grande variabilité en fonction du type de farine utilisé et de taux d'incorporation de la farine de lentilles.

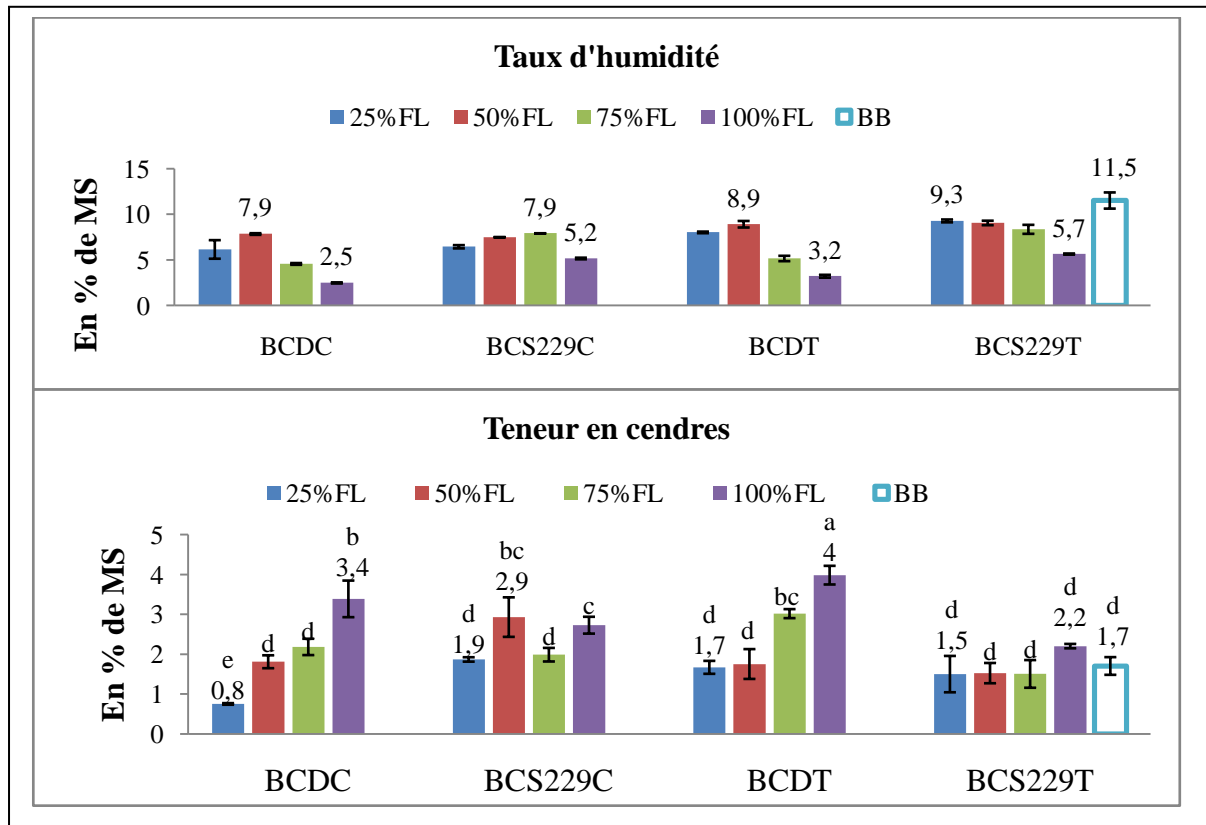


Figure 35: Taux d'humidité et de cendres des biscuits de lentilles et du biscuit de blé

Par comparaison au BB (11,5 %), les BL affichent des taux d'humidité inférieurs variants de 2,5 à 9,3 %, cela explique la régression (-19 à -78 %) observée en incorporant plus de FL. Les BCS229 présentent les taux d'humidité les plus élevées (jusqu'à 9,3 % à 25% de FLT). Nous enregistrons des niveaux supérieurs chez les BLT pour les deux cultivars. Leur forte CAE pourrait justifier cette augmentation. Nous notons un effet hautement significatif ($p < 0,01$) des trois variables étudiées (traitement, variété et proportion de FL) sur la teneur en cendres. Globalement, la teneur en cendres voit sa progression chez les biscuits à grand pourcentage de FL (2,2 à 3,98 % : + 28,29 % à + 133,92 % chez les biscuits à 75 et 100% FL), contre une teneur moyenne (1,7%) chez le BB. Comparés au BCDC, les BCDT témoignent une élévation de l'ordre de 14 à 54% du taux de cendres, ce dernier exhibe au contraire une baisse (-19 à -47,9 %) chez les BCS229T.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

3.2. Analyses phyto-chimiques

3.2.1. Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes

La teneur en polyphénols et en flavonoïdes totaux des biscuits élaborés est illustrée par la figure ci-dessous:

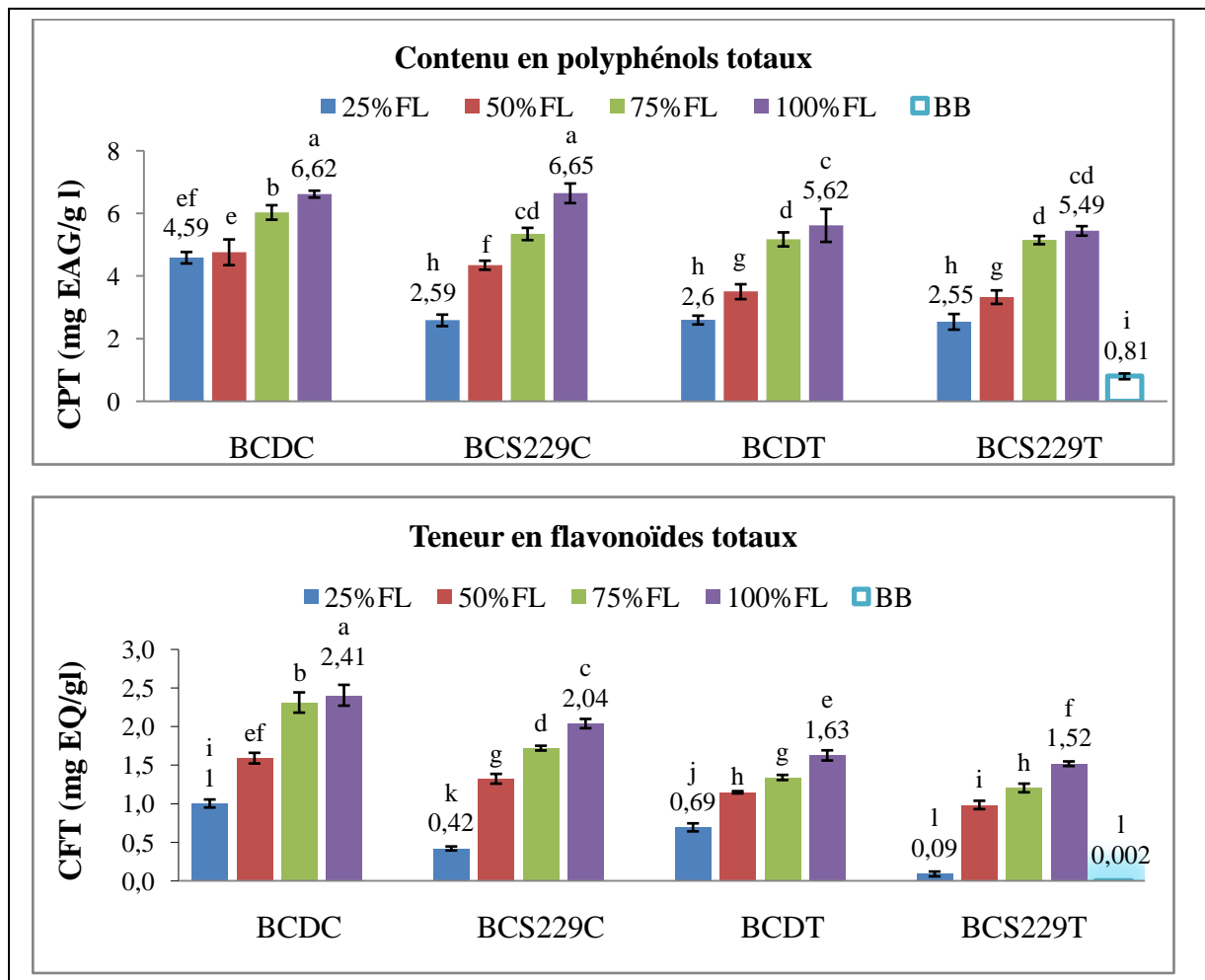


Figure 36 : Teneurs des biscuits en polyphénols et en flavonoïdes totaux

Les teneurs en polyphénols et en flavonoïdes des biscuits montrent une influence hautement significative ($p < 0,01$) par le traitement de torrification, les cultivars testés, et le taux de substitution de la FB. Une amélioration de l'ordre de 1,7 à 5,8 mg EAG/g l et de 0,08 à 2,4 mg EQ/g l du CPT et du CFT est enregistrée après incorporation de la FL, contre une teneur pauvre en polyphénols (3 à 8 fois plus faible), et presque nulle (0,002 mg EQ/g l) en flavonoïdes chez le BB. Par rapport aux BLC, Les BLT témoignent une diminution du CPT (-2 à -43%) et du CFT (-25 à -78%), induite par le traitement thermique détruisant ces molécules bioactives.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit**3.2.2. Teneur en facteurs antinutritionnels (FAN)**

Les résultats du contenu en FAN des biscuits sont présentés par la figure 37. Le contenu en FAN (phytates et tanins condensés) est nettement influencé par le traitement et le pourcentage de substitution de la FB ($p < 0,01$), le cultivar étudié ne présente pas un effet significatif sur ces composants ($p > 0,05$).

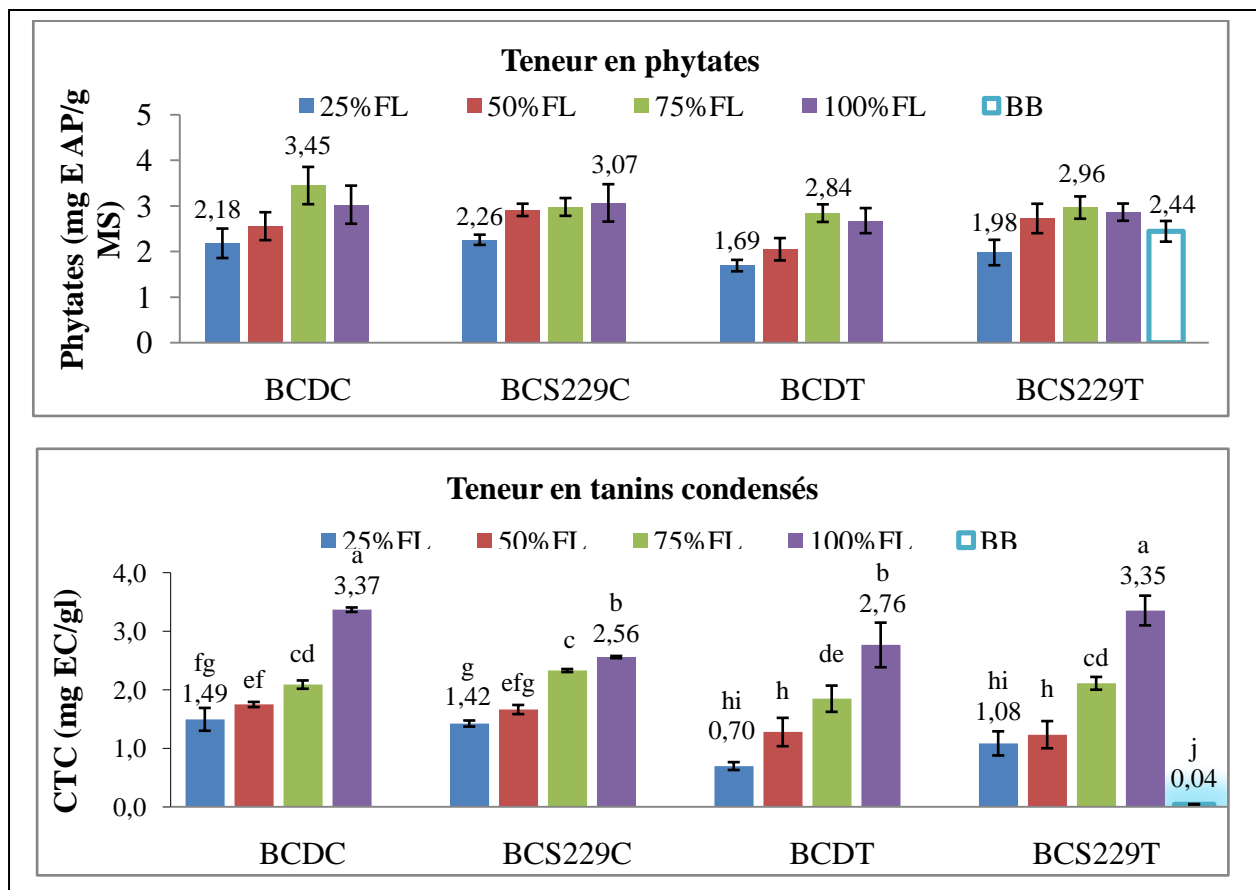


Figure 37: Contenu en FAN des biscuits (phytates et tanins condensés)

Le BB renferme des teneurs en phytates comparables à celles du BL, tandis que sa teneur en TC n'atteint pas les (0,05 mg EC/g). L'analyse des résultats dévoile une progression des niveaux des phytates (+4 à + 41%) et des TC (27 à 84 fois plus élevés) en incorporant plus de FL dans les biscuits, cette progression est plus marquante chez les BLC. Par ailleurs, à 25% les phytates exhibent une diminution (-7,46 à -30,66) liée à la faible proportion de FL dans le biscuit. D'autre part, il s'avère que l'utilisation de la FLT induit une régression des FAN par la réduction des niveaux des phytates (BCD: -11,56 à -22,42% et BCS229: -0,5 à -12,40%), et des TC (BCD : -11,55 à -53,45% et BCS229: -9,37 à -23,72%) dans les biscuits.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit**3.2.3. Evaluation du pouvoir antioxydant des biscuits**

Les résultats de la capacité antioxydante évaluée par les tests DPPH, ABTS et FRAP (tableau 17) sont exprimés en CI50 (mg/ml).

Tableau 17: Activité antioxydante des différents biscuits mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP

Type de biscuit	Taux de FL (%)	Test d'évaluation de l'activité antioxydante					
		DPPH ^{NS} (CI50 en mg/ml)		ABTS ^{NS} (CI50 en mg/ml)		FRAP ^{NS} (CI50 en mg/ml) ^A	
		CD	CS229	CD	CS229	CD	CS229
BLC	25	15,21±1,75	19,68±1,75	2,15±0,17	2,50±0,09	1,59±0,02	2,17±0,00
	50	9,89±0,3	11,37±0,25	1,25±0,06	1,79±0,1	1,34±0,00	1,37±0,01
	75	7,01±0,29	7,89±0,72	1,20±0,13	1,24±0,1	1,22±0,02	1,03±0,02
	100	5,58±0,77	7,20±0,40	0,69±0,04	0,75±0,07	1,07±0,00	0,89±0,00
BLT	25	17,23±0,57	21,74±0,24	2,28±0,21	2,60±0,14	2,51±0,00	2,51±0,00
	50	9,90±0,18	11,57±0,80	1,68±0,12	1,99±0,2	1,64±0,01	2,08±0,01
	75	7,41±0,10	8,87±0,32	1,21±0,07	1,28±0,03	1,37±0,01	1,58±0,03
	100	6,69±0,13	7,71±0,07	0,83±0,02	0,92±0,05	1,24±0,02	1,38±0,02
BB	00	136,84±3,05		6,1±0,25		16,43±2,81	
Trolox ^B		0,06±0,001		0,04±0,01		0,008±0,0001	
Acide ascorbique ^C		0,72±0,004		0,43±0,002		0,05±0,001	

Les résultats sont exprimés en moyenne suivie de l'ecartype; **NS**: L'interaction des trois facteurs fl*f2*f3 (traitement*variété*taux de FL) présente un effet non significatif (p>0,05); **BLC**: biscuit de lentilles crues, **BLT**: biscuit de lentilles torrifiées, **BB**: biscuit de blé, **CI50**: Concentration inhibitrice de 50% du radical DPPH ou ABTS, **A**: Concentration de l'extrait nécessaire à la réduction du radical FRAP à moitié (pouvoir antioxydant réducteur ferrique), **B**: Trolox comme contrôle positif, **C**: Acide ascorbique comme contrôle positif.

Tous comme les extraits de la FL et de la FB, l'activité antioxydante des BL et du BB reste inférieur à celle des standards (Acide ascorbique et Trolox). L'analyse comparative de l'activité antioxydante des biscuits relève une nette amélioration chez les BL. D'après l'analyse de la variance, l'incorporation de la FLC renforce l'activité antioxydante des BL (DPPH: 6 à 24, ABTS: 2 à 8, et FRAP: 4 à 24 fois plus élevée que celle du BB) pour les deux cultivars (p<0,01). Cependant, ce pouvoir antioxydant est déprécié (p>0,05) après utilisation de la FLT: (DPPH: -0,13 à -20 % et -1,75 à -12,35%, ABTS: -0,4 à -20,75 % et -3 à -23,1%, et FRAP: -13,64 à -59,10% et -34,75 à -89,68% respectivement pour le BCDT et le

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

BCS229T), sa réduction est induite par thermolyse des molécules bioactives (polyphenols, flavonoïdes et tanins) responsables au piégeage des radicaux libres.

3.3.Analyse statistique de la corrélation

Les relations corrélatives entre l'activité antioxydante (par les tests DPPH, ABTS et FRAP) et le CPT, en FT et en TC sont illustrées par le tableau ci-dessous, le coefficient de Pearson R^2 à été calculé pour chacun de ces paramètres.

Tableau 18: Coefficients de corrélation de Pearson (R^2) entre l'activité antioxydante et le contenu phyto-chimique

Variables	CPT	CFT	CTC	DPPH	ABTS	FRAP
CPT	1	0,951***	0,919***	-0,828	-0,920***	-0,818***
CFT		1	0,868***	-0,748***	-0,855***	-0,735***
CTC			1	-0,779***	-0,878***	-0,770***
DPPH				1	0,972***	0,993***
ABTS					1	0,965***
FRAP						1

***Correlations significativement différente de zero ($P < 0,001$); **CPT**:contenu en polyphénol totaux; **CFT**: contenu en flavonoïdes totaux; **CTC**:contenu en tanins condensés; **DPPH**: activité antioxydante mesurée par le test DPPH; **ABTS**: activité antioxydante mesurée par le test ABTS; **FRAP**: activité antioxydante mesurée par le test FRAP.

Il ressort que le contenu phyto-chimique présente des corrélations hautement significatives entre eux ($p < 0,001$). Parallèlement aux résultats de corrélation chez la FL, les donnés de corrélation chez les BL exhibent de très bonnes corrélations entre les tests d'évaluation de l'activité antioxydante: DPPH et FRAP ($R^2=0,993$) > DPPH et ABTS ($R^2=0,972$) > ABTS et FRAP ($R^2=0,965$). Une meilleure corrélation a été enregistrée entre le contenu phyto-chimique (CPT, CFT, et CTC) et le test ABTS ($R^2= -0,920$, $R^2= -0,855$, $R^2= -0,878$) respectivement. Le CPT affiche les plus fortes corrélations avec l'ensemble des paramètres testés ($P < 0,001$), le CFT présente une meilleure corrélation avec le CPT ($R^2= 0,951$) par comparaison à celui des TC ($R^2 = 0,919$), ces deux coefficients relèvent la contribution des flavonoïdes et des tanins condensés à la teneur en polyphénols totaux et à la capacité antioxydante du biscuit de lentilles.

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

3.4. Analyse sensorielle

Le résultat de l'évaluation de la qualité sensorielle des biscuits élaborés (biscuits de blé et biscuits de lentilles torrifiées et non torrifiées) est illustré par la figure 38

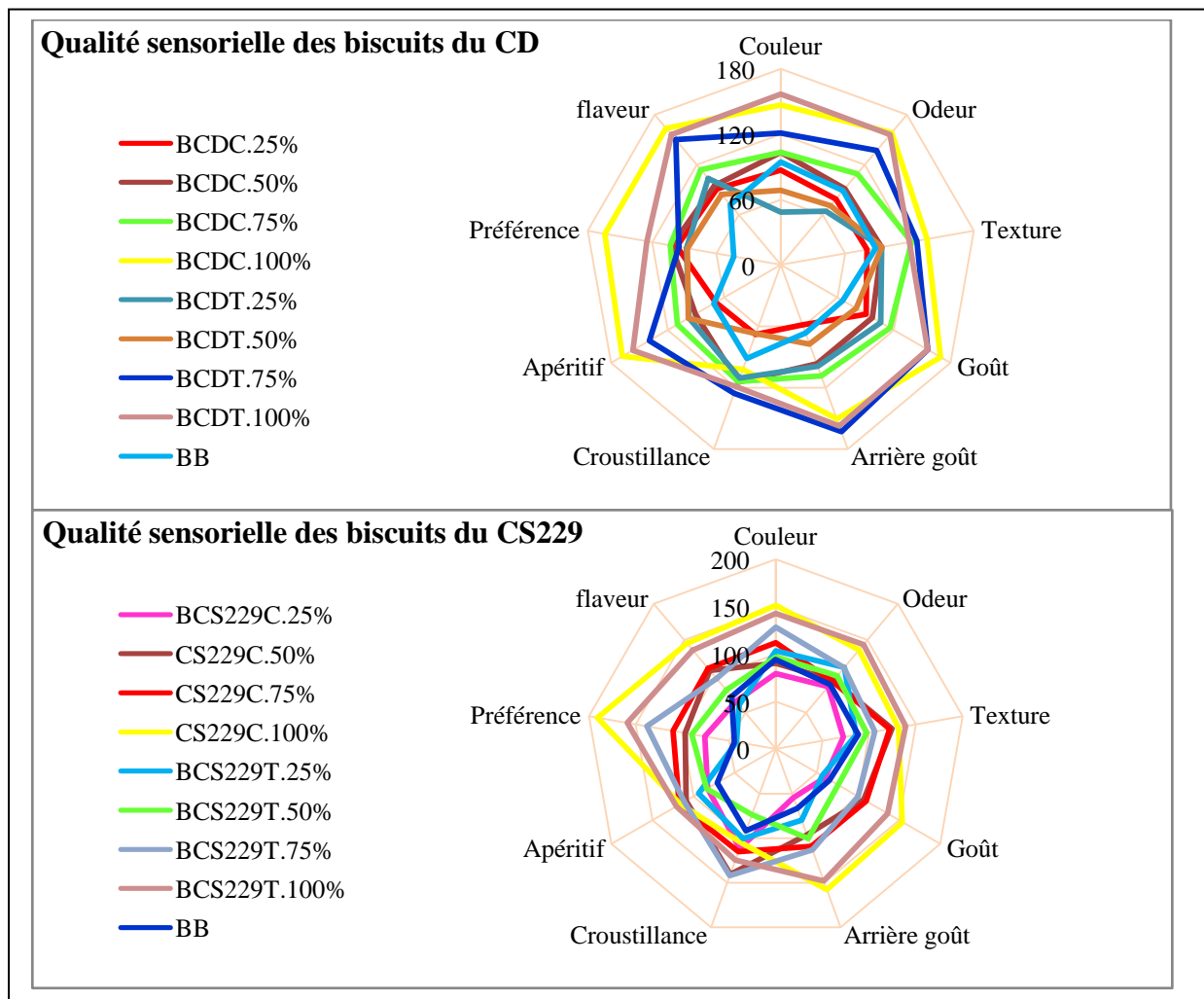


Figure 38: Qualité sensorielle des biscuits fabriqués

Le classement des échantillons par somme des rangs, dévoilent que les meilleurs caractéristiques sensorielles reviennent aux biscuits à 25 et 50% de FL. Le BCDC à 25% de FL possède la meilleure couleur, texture, et arrière-goût. Le BCDT à 25% de FL s'est caractérisé par une odeur acceptable, et le BCDT à 50% de FL par la meilleure croustillance, tandis que le BCDC à 25% de FL se distingue par le caractère le plus apéritif. Contrairement aux BCDC et aux BCS229C à 100% de FL, Le BCS229T à 25% de FL a été choisie comme le meilleur produit aux meilleurs goûts et flaveur.

4. Discussion générale

Quel que soit le taux de substitution de la FB, l'ajout de la FL améliore l'apport en énergie brute, en protéines et lipides, en tanins condensés, et en polyphénols et flavonoïdes. L'amélioration est d'autant plus prononcée que le pourcentage d'incorporation de la FL est élevé dans le biscuit. Les autres paramètres évalués (sucres solubles et sucres réducteurs, cendres, humidité et phytates) manifestent une variabilité en fonction du taux d'incorporation de la FL.

Cette amélioration de la composition chimique a été approuvée par Dreher et Patek (1984); Zucco et *al.* (2011); Dhinda et *al.* (2011); Noor Aziah et *al.* (2012); Turfani et *al.* (2017); Ouazib et *al.* (2016); Portman et *al.* (2020), et Polat et *al.* (2020) sur des biscuits, et des pains enrichis en farines de légumineuses (lentilles, haricot blanc et haricot pinto, graines de soja, pois chiche, et petit pois). La comparaison semble être difficile à cause des différents taux de substitution de la FB par les farines de légumes secs. A 50/50: FB/FL, Bojňanská et *al.* (2012) signalent des teneurs relativement comparables en protéines (16,28 et 15,73%), et en cendres (2,13 et 1,6 %) pour les pains de lentilles et de pois chiches respectivement. Les graines de lentilles objet de notre essai (CD et CS229) fournissent un apport en protéines et en cendres grandissant la teneur finale chez les BLC et même torréfiés. De plus, la valeur nutritionnelle ajoutée (en protéines et en cendres) par la FL, s'avère plus intéressante que celle des pois cajan, haricots verts séchés, et haricots blancs signalés par plusieurs auteurs (Tiwari et *al.*, 2011; Owoicho et *al.*, 2020; Chandra et *al.*, 2015). Ainsi, nos résultats confirment le bon choix des lentilles comme légume sec offrant de tell nutriments indispensables.

La teneur en lipides des biscuits est légèrement augmentée par l'ajout de la FL, cette dernière renferme des teneurs (de 0,8 à 1,2%) relativement supérieures à celle de la FB (0,4%), ce qui pourrait être à l'origine de cette différence. De nombreux auteurs signalent l'augmentation du taux des lipides dans les produits enrichis de légumineuses, et l'attribuent à leur teneur initiale dans la farine utilisée (Ndife et *al.*, 2014; Ouazib et *al.*, 2016; et Rababah, 2006). Au regard des propriétés fonctionnelles (Partie 1: Tableau 15), et par comparaison à la FB (0,98 ml/g), la forte capacité d'absorption d'huile caractérisant les FLC (jusqu'à 1,43 ml/g), et les FLT (jusqu'à 1,15 ml/g) pourrait justifier la baisse du contenu en lipides chez le BB, et chez les biscuits de FLT $\leq 75\%$ comparés aux FLC. En revanche, la forte CAE caractérisant les FLT est plus notable à des taux de 75% et 100% de FL, l'évaporation de cette eau lors de la cuisson (BCD à 100% de FL, les BCS229 à 75 et 100% de FL) pourra

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

préserver la matière grasse (thermodégradable) et augmenter le pourcentage lipidique dans l'aliment.

Corréliées positivement avec le taux d'incorporation de la FL, les teneurs en sucres solubles et en sucres réducteurs s'accroissent chez les BL. De plus, leurs teneurs initiales dans les farines de blé et de lentilles contribuent à cette augmentation. Par ailleurs, sous l'effet du traitement thermique (torréfaction), les sucres solubles qui diminuent chez les BLT, sont partiellement transformés en sucres réducteurs, induisant par conséquent l'augmentation de celle-ci. Les sucres solubles peuvent en revanche participer aux réactions de Maillard, ce qui pourrait être à l'origine de leur diminution chez les BLT comparée aux BLC.

Les BL diminuent d'humidité en incorporant plus de FL. Comparée à la FB (12,70%), cette diminution est nettement liée à la faible teneur en humidité des FL utilisées (figure 23: de 7,18 à 11,47%). Yusufu et al. (2015) signale également cette diminution chez des biscuits enrichis de pois verts (8,80 et 7,60% avec 25 et 50 % de farine de pois). Les résultats d'humidité affichent des teneurs intéressantes du point de vue de la stabilité du produit, ceci pourrait avoir une importance pour la prolongation de la durée de vie de l'aliment, lui conférant une bonne aptitude au stockage (propriété désirée en industrie agroalimentaire).

L'incorporation de la FL valorise l'apport énergétique des biscuits préparés, la variabilité observée chez le BB, les BLC, et les BLT est probablement attribuée aux modifications du contenu en protéines, lipides et glucides lors du traitement thermique.

Les niveaux des facteurs antinutritionnels phytates et tanins condensés, ont connu une élévation plus notable chez les biscuits à grand pourcentage de substitution de FL (75 et 100%), leur teneur initial supérieur dans les FL est à l'origine de cette élévation. Quant aux BLT qui affichent des teneurs inférieures, leur réduction est le résultat de la thermolyse induit par le procédé de torréfaction.

Les BLC et les BLT gagnent davantage des composés phénoliques, et tirent leurs flavonoïdes de la FL qui en fournis largement, la FB n'ont possédé que des traces. L'enrichissement des produits additionnés de légumineuses par les composés phénoliques et les flavonoïdes a été affirmé par de nombreux auteurs. Turfani (2017) et Portman (2020) le signale chez les pains et biscuits enrichis avec 6 à 100% de FL. Cependant, ces molécules

de la farine de blé par la farine des lentilles crues et torrifiées sur la qualité du biscuit

thermosensibles sont affectées par le prétraitement thermique, qui réduit leurs teneurs chez les BLT.

Comme prévu, la substitution partielle ou complète de la FB par la FL augmente l'activité antioxydante, en fournissant des composés bioactifs (polyphénols flavonoïdes et tannins) naturels, et procurant aux biscuits de lentilles une qualité nutritionnelle intéressante. Tous comme nos résultats, Portman. (2020), Turfani (2016), et Zucco (2011) enregistrent une progression de l'activité antioxydante, par la présence d'acides phénoliques dans les biscuits formés du mélange (FL/FB). La baisse du contenu en polyphénols, flavonoïdes et tannins condensés explique l'affaiblissement du pouvoir antioxydant chez les BLT.

Selon l'évaluation sensorielle, le biscuit du CS229T à 25% de FL est qualifié de très bon goût et flaveur, suivie du biscuit du CDT à 25% de FL puis du BB. L'appréciation des échantillons à base de FLT, revient à l'amélioration de leurs qualités organoleptiques grâce au processus de torrification. De nombreux auteurs font appel au procédé de torrification, pour améliorer la qualité sensorielle des produits à base de noix, de graines ou de légumes secs (café, cacao, haricots, fèves, soja, lentilles, petits pois verts, pois chiche, amandes, noyés, noisettes, pistaches, noix de cajou, arachides, graines de sésame et noix de pin). En effet, l'objectif principal de la torrification est d'améliorer la saveur, la couleur, la texture et la croustillance des produits (Schmitzer et *al.*, 2011). Les changements induits par la torrification sont principalement liés à la perte d'eau, au développement de réactions de maillards, et à la formation de flaveurs, couleur et texture souhaitées (Açar et *al.*, 2009).

La propriété de croustillance caractérisant tous les échantillons de biscuits, est reliée en grande partie à la réduction de l'humidité survenant pendant la cuisson jusqu'à l'étape de croustissage. Les biscuits à 100% de FL possèdent le caractère le moins apéritif, leurs goûts, odeurs, textures, couleurs et flaveurs sont jugés indésirables, cela indique que l'ajout de grands pourcentages de FL, avait probablement gâché la qualité organoleptique par l'intensification de certaines caractéristiques sensorielles du biscuit.

5. Conclusion

Notre étude met en évidence l'amélioration de la valeur nutritionnelle des biscuits par l'incorporation de la FL, cette amélioration est d'autant plus notable que le taux d'incorporation de la FL est élevé. Celle-ci fournit un apport protéique intéressant, et contribue à l'amélioration de la valeur nutritionnelle des biscuits, par l'ajout des composés phénoliques, flavonoïdes et tanins. Parallèlement, le pouvoir antioxydant des BL, est accentué par l'élévation du contenu en molécules bioactives neutralisant les radicaux libres. Ce pouvoir antioxydant, exhibe une faible régression chez les BLT, induite par destruction thermique des molécules antioxydantes fournies par la FL utilisée.

Quant aux facteurs antinutritionnels (phytates et tanins condensés), qui surmontent chez les BLC, ces molécules ciblées par le traitement thermique appliqué (torréfaction adaptée), sont significativement dépressés chez les BLT, offrant finalement, un biscuit de qualité nutritionnelle améliorée. En effet la dégradation thermique des FAN, contribue à l'amélioration de la digestibilité des protéines et à l'absorption des minéraux de l'aliment.

L'étude dévoile également, la possibilité d'utiliser la FL torréfiées ou crues comme alternative de la farine de blé, cette dernière peut être substituée partiellement ou complètement par la FL, en vue d'acquérir ses vertus nutritives.

Bien que l'évaluation sensorielle montre une appréciation générale des BLT à 25 et 50% de FL, le contenu nutritionnel adapté, procure aux biscuits à 100% de FL un large attrait chez les personnes coeliaques. 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.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le traitement de torréfaction des graines a été évalué pour son impact sur la teneur en protéines, en composants bioactifs (polyphénols totaux et flavonoïdes) et sur l'activité antioxydante in vitro, ainsi que sur les niveaux des facteurs antinutritionnels (acide phytique et tanins condensés) pour deux variétés de lentilles (DAHRA et SYRIE 229) cultivées en Algérie.

La torréfaction induit une réduction notable des phytates et des tanins condensés à des niveaux inférieurs pouvant atteindre les 37% et 59% du contenu initial respectivement. Elle conduit cependant à une diminution du taux des protéines et à une régression de l'activité antioxydante, suite à une diminution de la teneur en polyphénols et en flavonoïdes, ces réductions s'accroît avec la température et la durée du traitement.

La torréfaction des graines de lentilles à 140°C pendant 15 min et à 120°C pendant 30 min, respectivement pour les variétés DAHRA et SYRIE 229 a été sélectionnée en tant que traitement réduisant plus de facteurs antinutritionnels, et préservant un maximum de composés bioactifs responsables de leur pouvoir antioxydant.

L'étude des propriétés fonctionnelles des farines de lentilles dévoile une importance technologique valorisante, offrant un potentiel de transformation agro-industriel important.

En seconde étude, la farine de lentilles issue des procédés de torréfaction sélectionnés a été utilisée pour la fabrication d'un biscuit de lentille à différents taux d'incorporation.

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

Parallèlement, le contenu en composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes respectivement) s'agrandit d'environ 2 à 6 mg EAG/g et de 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 torréfaction chez les biscuits de lentilles torréfiées), confère aux biscuits de lentilles une capacité antioxydante accentuée, indiquant qu'elles servent d'aliment antioxydant.

Par opposition à la farine de lentilles crues, l'incorporation de la farine de lentilles torréfiées réduit les FAN (phytates et tanins 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 torréfiées 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 torréfiées 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 divers catégories de consommateurs est devenue réalisable.

A la lumière de ces résultats, notre étude mérite d'être poursuivie et approfondie à travers:

- l'évaluation approfondie de la qualité nutritionnelle des biscuits obtenus:., profil en acides aminés, en minéraux, profil en composés bioactifs (polyphénols et flavonoïdes), et digestibilité des protéines.
 - évaluation d'autres traitements (germination, cuisson, décorticage...etc) pour leur effet sur les graines de lentilles et sur d'autres types de légumineuses.
 - évaluation de l'aptitude techno-industrielles d'autres types de légumes secs cultivés en Algérie pour une production variée, et du comportement des produits à base de légumineuses lors du stockage.
- amélioration de la qualité organoleptique des produits innovés par l'optimisation du processus de fabrication.

Références bibliographiques

- **Abdel Rahaman, S. M., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (2005).** Effect of fermentation on antinutritional factors and HCl extractability of minerals of pearl millet cultivars. *J. Food Technol*, 3(4), 516-522.
- **Abdel-Aal, E. S. M., & Gallagher, E. (2009).** 11 Functionality of Starches and Hydrocolloids in Gluten-Free Foods. *Gluten-free food science and technology*, 200.
- **Açar, Ö. Ç., Gökmen, V., Pellegrini, N., & Fogliano, V. (2009).** Direct evaluation of the total antioxidant capacity of raw and roasted pulses, nuts and seeds. *European Food Research and Technology*, 229(6), 961-969.
- **Adsule RN, Kadam SS (1989).** Handbook of world food legumes: nutritional chemistry-processing technology and utilization. Boca Raton FL, CRC Press.
- **Aggarwal, D., Sabikhi, L., & Kumar, M. S. (2016).** Formulation of reduced-calorie biscuits using artificial sweeteners and fat replacer with dairy–multigrain approach. *NFS journal*, 2, 1-7.
- **Akubor, P. I., & Ukwuru, M. U. (2003).** Functional properties and biscuit making potential of soybean and cassava flour blends. *Plant foods for human nutrition*, 58(3), 1-12.
- **Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016).** Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(3), 445-473.
- **Aletor, V. A., & Fetuga, B. L. (1987).** Pancreatic and intestinal amylase (EC 3.2. 1.1) in the rat fed lima bean haemagglutinin extract. II. Evidence of impaired dietary starch utilization. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 57(1-5), 113-117.
- **Alonso, R., Orue, E., & Marzo, F. J. F. C. (1998).** Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. *Food Chemistry*, 63(4), 505-512.
- **Alshikh N, de Camargo AC, Shahidi F (2015).** Phenolics of selected lentil cultivars: Antioxidant activities and inhibition of low-density lipoprotein and DNA damage. *Journal of Functional Foods* 18: 1022-1038.
- **Amarowicz R, Estrella I, Hernández T, Dueñas M, Troszyńska A, Kosińska A, Pegg RB (2009).** Antioxidant activity of a red lentil extract and its fractions. *International Journal of Molecular Sciences* 10: 5513-5527.

- **Amarowicz R, Estrella I, Hernández T, Robredo S, Troszyńska A, Kosińska A, Pegg RB (2010).** Free radical-scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*). *Food chemistry* 121: 705-711.
- **Ansari, M. M., & Kumar, D. S. (2012).** Fortification of food and beverages with phytonutrients. *Food and Public Health*, 2(6), 241-253.
- **Appiah, F., Asibuo, J. Y., & Kumah, P. (2011).** Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana.
- **Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2008).** Gluten-free cereal products and beverages. London, UK: Food Science and Technology International Series, Elsevier.
- **Arepally, D., Reddy, R. S., Goswami, T. K., & Datta, A. K. (2020).** Biscuit baking: A review. *Lwt*, 131, 109726.
- **Ashraf, S., Saeed, S. M. G., Sayeed, S. A., & Ali, R. (2012).** Impact of Microwave Treatment on the Functionality of Cereals and Legumes. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(3).
- **Aslani, Z., Alipour, B., Bahadoran, Z., Bagherzadeh, F., & Mirmiran, P. (2015).** Effect of lentil sprouts on glycemic control in overweight and obese patients with type 2 diabetes. *Age (year)*, 54(7.4), 52-7.
- **Aune D, De Stefani E, Ronco A, Boffetta P, Deneo-Pellegrini H, Acosta G, Mendilaharsu M (2009).** Legume intake and the risk of cancer: a multisite case-control study in Uruguay. *Cancer Causes and Control* 20: 1605-1615.
- **Bajpai, S., Sharma, A., & Gupta, M. N. (2005).** Removal and recovery of antinutritional factors from soybean flour. *Food chemistry*, 89(4), 497-501.
- **Bassinello, P. Z., de GC Freitas, D., Ascheri, J. L. R., Takeiti, C. Y., Carvalho, R. N., Koakuzu, S. N., & Carvalho, A. V. (2011).** Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*, 1, 1645-1652.
- **BATRA, V. P., Vasishtha, R., & Dhindsa, K. S. (1986).** Effect of heat and germination on trypsin inhibitor activity in lentil and pigeon pea. *Journal of food science and technology (Mysore)*, 23(5), 260-263.
- **Bayart, M. (2019).** Élaboration et caractérisation de biocomposites à base d'acide polylactique et de fibres de lin: compatibilisation interfaciale par dépôt de revêtements à base d'époxy, de dioxyde de titane, de lignine ou de tanin.
- **Beninger, C. W., & Hosfield, G. L. (2003).** Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. *Journal of agricultural and Food chemistry*, 51(27), 7879-7883.

- **Benzie IF, Strain JJ (1996).** The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry* 239: 70-76.
- **Berger, A., Jones, P. J., & Abumweis, S. S. (2004).** Plant sterols: factors affecting their efficacy and safety as functional food ingredients. *Lipids in Health and Disease*, 3(1), 1-19.
- **Berrios, J. D. J., Morales, P., Cámara, M., & Sánchez-Mata, M. C. (2010).** Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531-536.
- **Bhatty, R. S. (1988).** Composition and quality of lentil (*Lens culinaris* Medik): a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(2), 144-160.
- **Bhatty, R. S., & Christison, G. I. (1984).** Composition and nutritional quality of pea (*Pisum sativum* L.), faba bean (*Vicia faba* L. spp. minor) and lentil (*Lens culinaris* Medik.) meals, protein concentrates and isolates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 34(1), 41-51.
- **Blois, M. S. (1958).** Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- **Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.
- **Bojňanská, T., Francáková, H., Líšková, M., & Tokár, M. (2021).** Legumes—the alternative raw materials for bread production. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 876-886.
- **Bora, P. (2014).** Anti-nutritional factors in foods and their effects. *Journal of Academia and Industrial Research*, 3(6), 285-290.
- **Bothon FT, Debiton E, Avlessi F, Forestier C, Teulade JC, Sohounhloue DK (2013).** In vitro biological effects of two anti-diabetic medicinal plants used in Benin as folk medicine. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 13: 51.
- **Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010).** Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- **Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010).** Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431.

- **Brand-Miller, J., Hayne, S., Petocz, P., & Colagiuri, S. (2003).** Low-glycemic index diets in the management of diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes care*, 26(8), 2261-2267.
- **Bravo, L. (1998).** Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11), 317-333.
- **Brennan, J. G., Jowitt, R., & Williams, A. (1974, September).** Sensory and instrumental measurement of 'brittleness' and 'crispness' in biscuits. In *Proceedings of the Fourth International Congress on Food Science and Technology* (Vol. 11, pp. 130-143).
- **Brink, M., Belay, G., & De Wet, J. M. J. (2006).** *Plant resources of tropical Africa 1: Cereals and pulses* (pp. 92-94). Wageningen, The Netherlands: PROTA Foundation.
- **Broadhurst RB, Jones WT (1978).** Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29: 788-794.
- **Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2017).** A comparative study between natural and synthetic antioxidants: Evaluation of their performance after incorporation into biscuits. *Food chemistry*, 216, 342-346.
- **Candela, M., Astiasaran, I., & Bello, J. (1997).** Cooking and warm-holding: effect on general composition and amino acids of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*), chickpeas (*Cicer arietinum*), and lentils (*Lens culinaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(12), 4763-4767.
- **Caponio, F., Summo, C., Clodoveo, M. L., & Pasqualone, A. (2008).** Evaluation of the nutritional quality of the lipid fraction of gluten-free biscuits. *European Food Research and Technology*, 227(1), 135-139.
- **Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015).** Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of food science and technology*, 52(6), 3681-3688.
- **Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002).** Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3), 178-182.
- **Chau, C. F., & Cheung, P. C. K. (1998).** Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds. *Food Chemistry*, 61(4), 429-433.
- **Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016).** Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1125773.

- **Cheeke, P. R. (1971).** Nutritional and physiological implications of saponins: a review. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(3), 621-632.
- **Chemists, A. O. A. C. (1990).** Official methods of analysis: changes in official methods of analysis made at the annual meeting. *Supplement. Association of Official Analytical Chemists*.
- **Chen, Y., Wu, Y., Fu, J., & Fan, Q. (2020).** Comparison of different rice flour-and wheat flour-based butter cookies for acrylamide formation. *Journal of cereal science*, 95, 103086.
- **Cheng, Y. F., & Bhat, R. (2016).** Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour. *Food Bioscience*, 14, 54-61.
- **Chow, P. S., & Landhäusser, S. M. (2004).** A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. *Tree physiology*, 24(10), 1129-1136.
- **Chung, H. J., Cho, A., & Lim, S. T. (2014).** Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 260-266.
- **Cotacallapa-Sucapuca, M., Vega, E. N., Maieyes, H. A., Berrios, J. D. J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2021).** Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption. A review. *Foods*, 10(5), 1096.
- **da Silva, T. F., & Conti-Silva, A. C. (2018).** Potentiality of gluten-free chocolate cookies with added inulin/oligofructose: Chemical, physical and sensory characterization. *LWT*, 90, 172-179.
- **de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. (2006).** Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food chemistry*, 94(3), 327-330.
- **De Camargo, A. C., de Souza Vieira, T. M. F., Regitano-D'Arce, M. A. B., Calori-Domingues, M. A., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2012).** Gamma radiation effects on peanut skin antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3073-3084.
- **Deepa, B., Prema, G., & Sai, K. B. (2013).** Antioxidant and free radical scavenging activity of triphala determined by using different in vitro models. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(39), 2898-2905.
- **Denis, A. (2011).** Les biscuits et gâteaux: toute une diversité. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 46(2), 86-94.

- **Dhinda, F., Prakash, J., & Dasappa, I. (2012).** Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of high protein, high fibre and low carbohydrate bread. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 2998-3006.
- **Dreher, M. L., & Patek, J. W. (1984).** Effects of supplementation of short bread cookies with roasted whole navy bean flour and high protein flour. *Journal of Food Science*, 49(3), 922-924.
- **Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- **Duenas, M., Hernandez, T., & Estrella, I. (2006).** Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry*, 98(1), 95-103.
- **Duenas, M., Sarmiento, T., Aguilera, Y., Benitez, V., Molla, E., Esteban, R. M., & Martín-Cabrejas, M. A. (2016).** Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 66, 72-78.
- **Dueñas, M., Sun, B., Hernández, T., Estrella, I., & Spranger, M. I. (2003).** Proanthocyanidin composition in the seed coat of lentils (*Lens culinaris* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(27), 7999-8004.
- **Duta, D. E., & Culetu, A. (2015).** Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal of Food Engineering*, 162, 1-8.
- **Eknayake, S., Jansz, E. R., & Nair, B. M. (1999).** Proximate composition, mineral and amino acid content of mature *Canavalia gladiata* seeds. *Food chemistry*, 66(1), 115-119.
- **El A, P., Nelson, S. O., Peck, E. E., Tjhio, B., & Stetson, L. E. (1981).** Biological properties of VHF-and microwave-heated soybeans [Processing, detoxification]. *Journal of Food Science*.
- **El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & Gafar, A. F. (2001).** Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. *Food Chemistry*, 74(4), 455-462.
- **Elhardallou, S. B., & Walker, A. F. (1994).** Phytic acid content of three legumes in the raw, cooked and fibre forms. *Phytochemical Analysis*, 5(5), 243-246.

Références bibliographiques

- **El-Nahry, F. I., Mourad, F. E., Abdel Khalik, S. M., & Bassily, N. S. (1980).** Chemical composition and protein quality of lentils (Lens) consumed in Egypt. *Plant Foods for Human Nutrition*, 30(2), 87-95.
- **Embaby, H. E. S. (2010).** Effect of soaking, dehulling, and cooking methods on certain antinutrients and in vitro protein digestibility of bitter and sweet lupin seeds. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 1055-1062.
- **Eneche, E. H. (1999).** Biscuit-making potential of millet/pigeon pea flour blends. *Plant foods for human nutrition*, 54(1), 21-27.
- **Ercan, P., & El, S. N. (2016).** Inhibitory effects of chickpea and Tribulus terrestris on lipase, α -amylase and α -glucosidase. *Food Chemistry*, 205, 163-169.
- **Ertaş, N., & Türker, S. (2014).** Bulgur processes increase nutrition value: possible role in in-vitro protein digestability, phytic acid, trypsin inhibitor activity and mineral bioavailability. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1401-1405.
- **Ertop, M. H., & Bektaş, M. (2018).** Enhancement of bioavailable micronutrients and reduction of antinutrients in foods with some processes. *Food and Health*, 4(3), 159-165.
- **Esenwah, C. N., & Ikenebomeh, M. J. (2008).** Processing effects on the nutritional and anti-nutritional contents of African locust bean (*Parkia biglobosa* Benth.) seed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(2), 214-217.
- **Ettoumi, L. Y., & Chibane, M. (2015).** Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*, 22(3), 987.
- **FAOSTAT (2022).** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible sur <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, consulté le 04/01/2022
- **Faris, M. E. A. I. E., Takruri, H. R., & Issa, A. Y. (2013).** Role of lentils (*Lens culinaris* L.) in human health and nutrition: a review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(1), 3-16.
- **Fernández M, Aranda P, López-Jurado M, García-Fuentes MA, Urbano G (1997).**
- Bioavailability of phytic acid phosphorus in processed *Vicia faba* L. var. Major. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 4367-4371.
- **Fernández, M., López-Jurado, M., Aranda, P., & Urbano, G. (1996).** Nutritional assessment of raw and processed faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar major in growing rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(9), 2766-2772.

- **Fernandez-Orozco, R., Frias, J., Muñoz, R., Zielinski, H., Piskula, M. K., Kozłowska, H., & Vidal-Valverde, C. (2007).** Fermentation as a bio-process to obtain functional soybean flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 8972-8979.
- **Fleck, J. D., Betti, A. H., Da Silva, F. P., Troian, E. A., Olivaro, C., Ferreira, F., & Verza, S. G. (2019).** Saponins from *Quillaja saponaria* and *Quillaja brasiliensis*: particular chemical characteristics and biological activities. *Molecules*, 24(1), 171.
- **Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957).** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*, 226(1), 497-509.
- **Fратиани F, Cardinale F, Cozzolino A, Granese T, Albanese D, Di Matteo M, Nazzaro F (2014).** Polyphenol composition and antioxidant activity of different grass pea (*Lathyrussativus*), lentils (*Lens culinaris*), and chickpea (*Cicerarietinum*) ecotypes of the Campania region (Southern Italy). *Journal of functional foods* 7: 551-557.
- **Frias, J., Diaz-Pollan, C., Hedley, C. L., & Vidal-Valverde, C. (1995).** Evolution of trypsin inhibitor activity during germination of lentils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(8), 2231-2234.
- **Gahlawat P, Sehgal S (1992).** Phytic acid, saponins, and polyphenols in weaning foods prepared from oven-heated green gram and cereals. *Cereal chemistry* 69: 463-464.
- **Gaines, C. S. (1982).** Influence of dough absorption level and time on stickiness and consistency in sugar-snap cookie doughs.
- **Gallagher, E. (2008).** Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In *Gluten-free cereal products and beverages* (pp. 321-346). Academic Press.
- **Galleano, M., Verstraeten, S. V., Oteiza, P. I., & Fraga, C. G. (2010).** Antioxidant actions of flavonoids: thermodynamic and kinetic analysis. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 501(1), 23-30.
- **Ganesan, K., & Xu, B. (2017).** Polyphenol-rich lentils and their health promoting effects. *International journal of molecular sciences*, 18(11), 2390.
- **García-Estapa, R. M., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (1999).** Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food research international*, 32(3), 217-221.
- **Garcia-Mora, P., Penas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2014).** Savinase, the most suitable enzyme for releasing peptides from lentil (*Lens culinaris* var. Castellana) protein concentrates with multifunctional properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(18), 4166-4174.

- **Giri, A. P., & Kachole, M. S. (1998).** Amylase inhibitors of pigeonpea (*Cajanus cajan*) seeds. *Phytochemistry*, 47(2), 197-202.
- **Güçlü-Üstündağ, Ö., & Mazza, G. (2007).** Saponins: properties, applications and processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(3), 231-258.
- **Gun'kin VA, Suslyanok GM. Lentil grain flakes production method. Russia patent RU 2512149 C1 20140410 (2014).**
- **Gupta RK, Gangoliya SS, Singh NK (2013).** Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of food science and technology* 52:676-684.
- **Gupta, K., & Wagle, D. S. (1980).** Changes in antinutritional factors during germination in *Phaseolus mungoreous*, a cross between *Phaseolus mungo* (M1-1) and *Phaseolus aureus* (T1). *Journal of Food Science*, 45(2), 394-395.
- **Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015).** Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of food science and technology*, 52(2), 676-684.
- **Gutkoski, L. C., Bonamigo, J. M. D. A., Teixeira, D. M. D. F., & Pedó, I. (2007).** Development of oat based cereal bars with high dietary fiber content. *Food Science and Technology*, 27, 355-363.
- **Hahn DH, Rooney LW, Earp CF (1984).** Tannins and phenols of sorghum. [Cereal Foods World](#) 29: 776-779
- **Han, H., & Baik, B. K. (2008).** Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *International journal of food science & technology*, 43(11), 1971-1978.
- **Han, J. J., Janz, J. A., & Gerlat, M. (2010).** Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, 43(2), 627-633.
- **Harland, B. F., & Oberleas, D. (1987).** Phytate in foods. *Energy. Nutrition of women*, 52, 235-259.
- **Haslam, E. (1989).** *Plant polyphenols: vegetable tannins revisited*. CUP Archive.
- **Hefnawy TH (2011).** Effect of processing methods on nutritional composition and anti-nutritional factors in lentils (*Lens culinaris*). *Annals of Agricultural Sciences* 56: 57-61.
- **Hegazy, N. A., & Faheid, S. M. (1991).** Rheological and sensory characteristics of doughs and cookies based on wheat, soybean, chick pea and lupin flours. *Egyptian Journal of Food Science*.

Références bibliographiques

- **Hernandez-Infante, M., Sousa, V., Montalvo, I., & Tena, E. (1998).** Impact of microwave heating on hemagglutinins, trypsin inhibitors and protein quality of selected legume seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52(3), 199-208.
- **Hoover R, Hughes T, Chung HJ, Liu Q (2010).** Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food research international* 43: 399-413.
- **Hoseney, R. C. (1994).** Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists. *Inc. Minnesota, USA. p, 270.*
- **Huang MH, Huang SS, Wang BS, Wu CH, Sheu MJ, Hou WC, Huang GJ (2011).** Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Cardiospermum halicacabum* and its reference compounds ex vivo and in vivo. *Journal of ethnopharmacology* 133: 743-750.
- **Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005).** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- **Huisman, J., Van der Poel, A. F. B., & Liener, I. E. (1989).** Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. *Pudoc, Wageningen*, 118-120.
- **Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N., & Khan, M. S. (2006).** Nutritional quality of important food legumes. *Food chemistry*, 97(2), 331-335.
- **Iwe, M. O., Onyeukwu, U., & Agiriga, A. N. (2016).** Proximate, functional and pasting properties of FARO 44 rice, African yam bean and brown cowpea seeds composite flour. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1142409.
- **Jain, A. K., Kumar, S., & Panwar, J. D. S. (2009).** Antinutritional factors and their detoxification in pulses-a review. *Energy (K cal)*, 139, 90-94.
- **Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker HM, Fielden H (1980).** Exceptionally low blood glucose response to dried beans: comparison with other carbohydrate foods. *Br Med J*, 281: 578-580.
- **Jindal, S., Soni, G. L., & Singh, R. (1982).** Effect of feeding of lectins from lentils and peas on the intestinal and hepatic enzymes of albino rats. *Journal of Plant Foods*, 4(2), 95-103.
- **Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. (2008).** Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food chemistry*, 110(1), 23-30.
- **Joel, N., & U, M. Z. (2011).** Evaluation of the nutritional and sensory quality of functional breads produced from whole wheat and soya bean flour blends. *African Journal of Food Science*, 5(8), 466-472.

Références bibliographiques

- **Johnson, C. R., & Thavarajah, P. (2013).** The influence of phenolic and phytic acid food matrix factors on iron bioavailability potential in 10 commercial lentil genotypes (*Lens culinaris* L.). *Journal of food composition and analysis*, 31(1), 82-86.
- **Johnson, C. R., Combs Jr, G. F., & Thavarajah, P. (2013).** Lentil (*Lens culinaris* L.): A prebiotic-rich whole food legume. *Food Research International*, 51(1), 107-113.
- **Johnson, I. T., Gee, J. M., Price, K., Curl, C., & Fenwick, G. R. (1986).** Influence of saponins on gut permeability and active nutrient transport in vitro. *The Journal of nutrition*, 116(11), 2270-2277.
- **Jood, S., Chauhan, B. M., & Kapoor, A. C. (1988).** Contents and digestibility of carbohydrates of chickpea and black gram as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry*, 30(2), 113-127.
- **Joshi, M., Timilsena, Y., & Adhikari, B. (2017).** Global production, processing and utilization of lentil: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2898-2913.
- **Joye, I. (2019).** Protein digestibility of cereal products. *Foods*, 8(6), 199.
- **Kadam, S. S., Smithard, R. R., Eyre, M. D., & Armstrong, D. G. (1987).** Effects of heat treatments of antinutritional factors and quality of proteins in winged bean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 39(3), 267-275.
- **Kataria, A., Chauhan, B. M., & Gandhi, S. (1988).** Effect of domestic processing and cooking on the antinutrients of black gram. *Food Chemistry*, 30(2), 149-156.
- **Kataria, A., Chauhan, B. M., & Punia, D. (1989).** Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mungbean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry*, 32(1), 9-17.
- **Kaukovirta-Norja, A., Wilhelmson, A., & Poutanen, K. (2004).** Germination: a means to improve the functionality of oat.
- **Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017).** Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9, 14-20.
- **Kaur, N., Arora, D. S., Kalia, N., & Kaur, M. (2020).** Antibiofilm, antiproliferative, antioxidant and antimutagenic activities of an endophytic fungus *Aspergillus fumigatus* from *Moringa oleifera*. *Molecular biology reports*, 47(4), 2901-2911.
- **Kies, A. K., De Jonge, L. H., Kemme, P. A., & Jongbloed, A. W. (2006).** Interaction between protein, phytate, and microbial phytase. In vitro studies. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(5), 1753-1758.

Références bibliographiques

- **Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Magala, M. (2011).** Utilisation of chickpea flour for crackers production. *Acta Chimica Slovaca*, 4(2), 98-107.
- **Krupa, U. (2008).** Main nutritional and antinutritional compounds of bean seeds-a review. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 58(2).
- **Kubicka, E., & Troszyńska, A. (2003).** Antioxidative potential of lentil seed coat towards lipoxygenase activity and β -carotene oxidation. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 12(SI 1), 147-150.
- **Kumar, K. A., Sharma, G. K., Khan, M. A., & Semwal, A. D. (2016).** A study on functional, pasting and micro-structural characteristics of multigrain mixes for biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2), 274-282.
- **Kumari, S. (2018).** *The effect of soaking almonds and hazelnuts on Phytate and mineral concentrations* (Doctoral dissertation, University of Otago).
- **Kuo, Y. H., Rozan, P., Lambein, F., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2004).** Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. *Food chemistry*, 86(4), 537-545.
- **Kute, L. S., Kadam, S. S., & Salunkhe, D. K. (1984).** Changes in sugars, starch and trypsin inhibitor activity in winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* L. DC) during seed development. *Journal of Food Science*, 49(1), 314-315.
- **Larsson, S. C., Giovannucci, E., Bergkvist, L., & Wolk, A. (2005).** Whole grain consumption and risk of colorectal cancer: a population-based cohort of 60 000 women. *British journal of cancer*, 92(9), 1803-1807.
- **Latta M, Eskin M (1980).** A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28: 1313-1315.
- **Lee, I. H., Hung, Y. H., & Chou, C. C. (2008).** Solid-state fermentation with fungi to enhance the antioxidative activity, total phenolic and anthocyanin contents of black bean. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2), 150-156.
- **Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020).** Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218-246.
- **LIENER, I. E. (1962).** Toxic factors in edible legumes and their elimination. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 11(4), 281-298.
- **Liener, I. E. (1994).** Implications of antinutritional components in soybean foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(1), 31-67.

- **Lima, A. I. G., Mota, J., Monteiro, S. A. V. S., & Ferreira, R. M. S. B. (2016).** Legume seeds and colorectal cancer revisited: Protease inhibitors reduce MMP-9 activity and colon cancer cell migration. *Food chemistry*, 197, 30-38.
- **Lo, D., Wang, H. I., Wu, W. J., & Yang, R. Y. (2018).** Anti-nutrient components and their concentrations in edible parts of vegetable families. *CAB Rev*, 13(15), 10-1079.
- **Lolas, G. M. (1976).** The phytic acid-total phosphorus relationship in barley, oats, soybeans, and wheat. *Cereal Chemistry*, 53, 867-871.
- **Lombardi-Boccia, G., Ruggeri, S., Aguzzi, A., & Cappelloni, M. (2003).** Globulins enhance in vitro iron but not zinc dialysability: a study on six legume species. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 17(1), 1-5.
- **Lowry, O. H. (1951).** Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem*, 193, 265-275.
- **Lu, J. Y. (2014).** Health preservation rice cake for auxiliary antihypertension and its production methods. *China Patent CN*, 103549260.
- **Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011).** Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534-2544.
- **Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K., & Patras, C. (1998).** Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42.
- **Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015).** Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 264-269.
- **Mancebo, C. M., Rodriguez, P., & Gómez, M. (2016).** Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. *LWT-food Science and Technology*, 67, 127-132.
- **Manley, D. (2011).** Emulsifiers (surfactants) and antioxidants as biscuit ingredients. In *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies* (pp. 181-190). Woodhead Publishing.
- **Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017).** The role of legumes in human nutrition. *Functional food-improve health through adequate food*, 1, 13.
- **Marathe SA, Rajalakshmi V, Jamdar SN, Sharma A (2011).** Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. *Food and Chemical Toxicology* 49: 2005-2012.

Références bibliographiques

- **Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M. A., & Ng, P. K. (2009).** The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Research International*, 42(8), 963-975.
- **Marquez, M. C., & Alonso, R. (1999).** Inactivation of trypsin inhibitor in chickpea. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12(3), 211-217.
- **Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2008).** Alpha-galactosides: antinutritional factors or functional ingredients?. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(4), 301-316.
- **Mateos, G. G., Latorre, M. Á., & Lázaro, R. (2002).** Traitement de la graine de soja. http://www.asa-europe.org/pdf/processsb_f.pdf.> Acesso em, 20(2), 2006.
- Matham, V. (2011). *Essentials of Toxicology*. New India Publishing Agency.p 206.
- **Mauer, L. (2003).** Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition (Second Edition), ScienceDirect.
- **Miliauskas G, Venskutonis PR, Van Beek TA (2004).** Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food chemistry* 85: 231-237.
- **Miller, G. L. (1959).** Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3), 426-428.
- **Min, M. J., & Shin, H. J. (2015).** Chemical composition and nutritional characteristics of lentils (*Lens culinaris*), and their application in the food industry: A review. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 273-280.
- **Mintel. (2008).** Attributes of cookies e Health and other Attributes of interest to cookie buyers by gender, August 2008.
- **Mirali, M., Ambrose, S. J., Wood, S. A., Vandenberg, A., & Purves, R. W. (2014).** Development of a fast extraction method and optimization of liquid chromatography–mass spectrometry for the analysis of phenolic compounds in lentil seed coats. *Journal of Chromatography B*, 969, 149-161.
- **Mo'ez Al-Islam, E. F., Mohammad, M. G., & Soliman, S. (2020).** Lentils (*Lens culinaris* L.): A candidate chemopreventive and antitumor functional food. *Functional Foods in Cancer Prevention and Therapy*, 99-120.
- **Moïse, J. A., Han, S., Gudynaite-Savitch, L., Johnson, D. A., & Miki, B. L. (2005).** Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 41(5), 620-644.
- **Montet, D., Ray, R. C., & Zakhia-Rozis, N. (2014).** Lactic acid fermentation of vegetables and fruits. *Microorganisms and fermentation of traditional foods*, 108-140.

Références bibliographiques

- **Moreira, R., Chenlo, F., & Torres, M. D. (2011).** Effect of sodium chloride, sucrose and chestnut starch on rheological properties of chestnut flour doughs. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1041-1050.
- **Moses, T., Papadopoulou, K. K., & Osbourn, A. (2014).** Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*, 49(6), 439-462.
- **Moussou, N., Ouazib, M., Wanasundara, J., Zaidi, F., & Rubio, L. A. (2019).** Nutrients and non-nutrients composition and in vitro starch digestibility of five Algerian legume seed flours. *International Food Research Journal*, 26(4), 1339-1349.
- **Muramoto, K. (2017).** Lectins as bioactive proteins in foods and feeds. *Food Science and Technology Research*, 23(4), 487–494.
- **Narayana, K., & Narasinga Rao, M. S. (1982).** Functional properties of raw and heat processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. *Journal of food science*, 47(5), 1534-1538.
- **Ndangui, C. B. (2015).** *Production et caractérisation de farine de patate douce (Ipomoeabatatas. Lam): optimisation de la technologie de panification* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- **Ndife, J., Kida, F., & Fagbemi, S. (2014).** Production and quality assessment of enriched cookies from whole wheat and full fat soya. *European Journal of Food Science and Technology*, 2(1), 19-28.
- **Nishaa S, Vishnupriya M, Sasikumar JM, Hephzibah PC, Gopalakrishnan VK(2012).** Antioxidant activity of ethanolic extract of *Marantaarundinacea* L. tuberous rhizomes. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 5: 85-88.
- **Nitin Vikram, Sunil Kumar Katiyar, Chandra Bhushan Singh, Raja Husain and Lokesh Kumar Gangwar. 2020.** A Review on Anti-Nutritional Factors. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 9(05): 1128-1137. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.123>
- **Noor Aziah, A. A., Mohamad Noor, A. Y., & Ho, L. H. (2012).** Physicochemical and organoleptic properties of cookies incorporated with legume flour.
- **Noya, L. I., Vasilaki, V., Stojceska, V., González-García, S., Kleynhans, C., Tassou, S., ... & Katsou, E. (2018).** An environmental evaluation of food supply chain using life cycle assessment: A case study on gluten free biscuit products. *Journal of Cleaner Production*, 170, 451-461.

- **O'Brien, C. M., Chapman, D., Neville, D. P., Keogh, M. K., & Arendt, E. K. (2003).** Effect of varying the microencapsulation process on the functionality of hydrogenated vegetable fat in shortdough biscuits. *Food research international*, 36(3), 215-221.
- **Okuda T, Yoshida T, Hatano T (1989).** New methods of analyzing tannins. *Journal of Natural Products* 52: 1-31.
- **Omoruyi, F. O., Dilworth, L., & Asemota, H. N. (2007).** Anti-nutritional factors, zinc, iron and calcium in some Caribbean tuber crops and the effect of boiling or roasting. *Nutrition & Food Science*.
- **Oomah BD, Caspar F, Malcolmson LJ, Bellido AS (2011).** Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. *Food Research International* 44: 436-441.
- **Oomah, B. D., Caspar, F., Malcolmson, L. J., & Bellido, A. S. (2011).** Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. *Food Research International*, 44(1), 436-441.
- **Osman, M. A. (2007).** Effect of different processing methods, on nutrient composition, antinutritional factors, and in vitro protein digestibility of Dolichos lablab bean [Lablab purpureus (L) Sweet]. *Pakistan Journal of Nutrition*.
- Otlewski, J., Jelen, F., Zakrzewska, M., & Oleksy, A. (2005). The many faces of protease–protein inhibitor interaction. *The EMBO journal*, 24(7), 1303-1310.
- Ouazib, M., Dura, A., Zaidi, F., & Rosell, C. M. (2016). Effect of partial substitution of wheat flour by processed (germinated, toasted, cooked) chickpea on bread quality.
- Ouazib, M., Garzon, R., Zaidi, F., & Rosell, C. M. (2016). Germinated, toasted and cooked chickpea as ingredients for breadmaking. *Journal of food science and technology*, 53(6), 2664-2672.
- Owoicho, M. C., Oneh, A. J., & Ikagu, Y. M. Production of Noodles from Rice (*Oryza sativa*), African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa*) and Rice Bran: A Tool for Ameliorating PEM and Hidden Hunger in Nigeria, 2020; 4(2): 25-31.
- **Padhi EM, Liu R, Hernandez M, Tsao R, Ramdath DD (2017).** Total polyphenol content, carotenoid, tocopherol and fatty acid composition of commonly consumed Canadian pulses and their contribution to antioxidant activity. *Journal of Functional Foods* 38:602-611.
- **Pal, R. S., Bhartiya, A., Yadav, P., Kant, L., Mishra, K. K., Aditya, J. P., & Pattanayak, A. (2017).** Effect of dehulling, germination and cooking on nutrients, anti-nutrients, fatty acid composition and antioxidant properties in lentil (*Lens culinaris*). *Journal of food science and technology*, 54(4), 909-920.

- **Pareyt, B., & Delcour, J. A. (2008).** The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(9), 824-839.
- **Patel, M. M., & Rao, G. V. (1995).** Effect of untreated, roasted and germinated black gram (*Phaseolus mungo*) flours on the physico-chemical and biscuit (cookie) making characteristics of soft wheat flour. *Journal of cereal science*, 22(3), 285-291.
- **Patel, P. S., Alagundagi, S. C., & Salakinkop, S. R. (2013).** The anti-nutritional factors in forages-A review. *Current Biotica*, 6(4), 516-526.
- **Peng S, Jay-Allemand C (1991).** Use of antioxidants in extraction of tannins from walnut plants. *Journal of chemical ecology* 17: 887-896.
- **Polat, H., Capar, T. D., Inanir, C., Ekici, L., & Yalcin, H. (2020).** Formulation of functional crackers enriched with germinated lentil extract: A Response Surface Methodology Box-Behnken Design. *LWT*, 123, 109065.
- **Porres JM, López-Jurado M, Aranda P, Urbano G (2003).** Effect of heat treatment and mineral and vitamin supplementation on the nutritive use of protein and calcium from lentils (*Lens culinaris* M.) in growing rats. *Nutrition* 19: 451-456.
- **Portman, D., Maharjan, P., McDonald, L., Laskovska, S., Walker, C., Irvin, H., ... & Panozzo, J. F. (2020).** Nutritional and functional properties of cookies made using down-graded lentil—A candidate for novel food production and crop utilization. *Cereal Chemistry*, 97(1), 95-103.
- **Pour-El, A., Nelson, S. O., Peck, E. E., Tjho, B., & Stetson, L. E. (1981).** Biological properties of VHF-and microwave-heated soybeans. *Journal of Food Science*, 46(3), 880-885.
- **Price, K. R., Johnson, I. T., Fenwick, G. R., & Malinow, M. R. (1987).** The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 26(1), 27-135.
- **Quinteros, A., Farre, R., & Lagarda, M. J. (2001).** Optimization of iron speciation (soluble, ferrous and ferric) in beans, chickpeas and lentils. *Food Chemistry*, 75(3), 365-370.
- **Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., & Ereifej, K. I. (2006).** Effect of chickpea, broad bean, or isolated soy protein additions on the physicochemical and sensory properties of biscuits. *Journal of Food Science*, 71(6), S438-S442.
- **Rackis, J. J. (1974).** Biological and physiological factors in soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 51(1Part2), 161A-174A.

- **Ramteke, R., Doneria, R., & Gendley, M. K. (2019).** Antinutritional factors in feed and fodder used for livestock and poultry feeding. *Acta scientific nutritional Health*, 3(5), 39-48.
- **Rao, P. U., & Deosthale, Y. G. (1982).** Tannin content of pulses: varietal differences and effects of germination and cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(10), 1013-1016.
- **Rathod RP, Annapure US (2016).** Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology* 66: 114-123.
- **Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- **Rebellato, A. P., Pacheco, B. C., Prado, J. P., & Pallone, J. A. L. (2015).** Iron in fortified biscuits: A simple method for its quantification, bioaccessibility study and physicochemical quality. *Food Research International*, 77, 385-391.
- **Reddy N R, Sathe SK, Pierson MD (1988).** Removal of phytate from great northern beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and its combined density fraction. *Journal of Food Science* 53: 107-110.
- **Reddy NR, Pierson MD, Sathe SK, Salunkhe DK (1984).** Chemical, nutritional and physiological aspects of dry bean carbohydrates: a review. *Food Chemistry* 13: 25-68.
- **Reddy, K. R., Patrick Jr, W. H., & Lindau, C. W. (1989).** Nitrification-denitrification at the plant root-sediment interface in wetlands. *Limnology and oceanography*, 34(6), 1004-1013.
- **Reddy, N. R., & Pierson, M. D. (1994).** Reduction in antinutritional and toxic components in plant foods by fermentation. *Food Research International*, 27(3), 281-290.
- **Reddy, N. R., & Salunkhe, D. K. (1980).** Changes in oligosaccharides during germination and cooking of black gram and fermentation of black gram/rice blend. *Cereal Chemistry*, 57(5), 356-360.
- **Reddy, N. R., Balakrishnan, C. V., & Salunkhe, D. K. (1978).** Phytate phosphorus and mineral changes during germination and cooking of black gram (*Phaseolus mungo*) seeds. *Journal of Food Science*, 43(2), 540-543.
- **Rehman, Z. U., & Shah, W. H. (2005).** Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food chemistry*, 91(2), 327-331.

- **Ridout, C. L., Price, K. R., Dupont, M. S., Parker, M. L., & Fenwick, G. R. (1991).** Quinoa saponins—analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(2), 165-176.
- **Rizzello, C. G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2014).** 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 food microbiology*, 180, 78-87.
- **Rochfort, S., & Panozzo, J. (2007).** Phytochemicals for health, the role of pulses. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(20), 7981-7994.
- **Rodriguez, C., Frias, J., Vidal-Valverde, C., & Hernández, A. (2008).** Correlations between some nitrogen fractions, lysine, histidine, tyrosine, and ornithine contents during the germination of peas, beans, and lentils. *Food Chemistry*, 108(1), 245-252.
- **Roleira, F. M., Tavares-da-Silva, E. J., Varela, C. L., Costa, S. C., Silva, T., Garrido, J., & Borges, F. (2015).** Plant derived and dietary phenolic antioxidants: Anticancer properties. *Food Chemistry*, 183, 235-258.
- **Rosen, C. G. (1972).** Effects of microwaves on food and related materials. *Food Technol.*, 26, 54-55.
- **Saha, S., Gupta, A., Singh, S. R. K., Bharti, N., Singh, K. P., Mahajan, V., & Gupta, H. S. (2011).** Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 616-621.
- **Sampathkumar, Y. (2012).** Thermal processing effects on total phenolic content, antioxidant activity, trypsin inhibitor activity and in-vitro protein digestibility of lentils.
- **Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020).** Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1-14.
- **Sandhu KS, Godara P, Kaur M, Punia S (2017).** Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16: 197-203.
- **Sapone, A., Bai, J. C., Ciacci, C., Dolinsek, J., Green, P. H., Hadjivassiliou, M., ... & Fasano, A. (2012).** Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. *BMC medicine*, 10(1), 1-12.
- **SATHE, S. K., & VENKATACHALAM, M. (2001).** Influence of processing technologies on phytate and its removal. In *Food phytates* (pp. 173-204). CRC Press.

- **Schmitzer, V., Slatnar, A., Veberic, R., Stampar, F., & Solar, A. (2011).** Roasting affects phenolic composition and antioxidative activity of hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Journal of food science*, 76(1), S14-S19.
- **Schofield P, Mbugua DM, Pell AN (2001).** Analysis of condensed tannins: a review. *Animal feed science and technology* 91: 21-40.
- **Shah, W. H. (2001).** Tannin contents and protein digestibility of black grams (*Vigna mungo*) after soaking and cooking. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56(3), 265-273.
- **Shahidi, F. (2004).** Functional foods: Their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science*, 69(5), R146-R149.
- **Shahidi, F. (2009).** Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 20(9), 376-387.
- **Shahidi, F., & Yeo, J. (2016).** Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9), 1216.
- **Shahwar, D., Bhat, T. M., Ansari, M. Y. K., Chaudhary, S., & Aslam, R. (2017).** Retracted Article: Health functional compounds of lentil (*Lens culinaris* Medik): A review. *International journal of food properties*, 20(sup1), S1-S15.
- **Sharma P, Gujral HS, Rosell CM (2011).** Effects of roasting on barley β -glucan, thermal, textural and pasting properties. *Journal of Cereal Science* 53: 25-30.
- **Sharma, A., & Sehgal, S. (1992).** Effect of domestic processing, cooking and germination on the trypsin inhibitor activity and tannin content of faba bean (*Vicia faba*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 42(2), 127-133.
- **Sharma, A., & Sehgal, S. (1992).** Effect of processing and cooking on the antinutritional factors of faba bean (*Vicia faba*). *Food chemistry*, 43(5), 383-385.
- **Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. B., & Dolan, K. D. (2010).** Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 232-237.
- **Siewwright, C. A., & Shipe, W. F. (1986).** Effect of storage conditions and chemical treatments on firmness, in vitro protein digestibility, condensed tannins, phytic acid and divalent cations of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Food Science*, 51(4), 982-987.
- **Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017).** Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16.
- **Singh, G. D., Riar, C. S., Saini, C., Bawa, A. S., Sogi, D. S., & Saxena, D. C. (2011).** Indian water chestnut flour-method optimization for preparation, its physicochemical,

- morphological, pasting properties and its potential in cookies preparation. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 665-672.
- **Singh, S., Singh, H. D., & Sikka, K. C. (1968).** Distribution of nutrients in the anatomical parts of common Indian pulses. *Cereal Chem*, 45, 13-18.
 - **Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965).** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
 - **Sinha, K., & Khare, V. (2017).** Review on: Antinutritional factors in vegetable crops. *The Pharma Innovation Journal*, 6(12), 353-358.
 - **Sosulski FW, Garratt MD, Slinkard AE (1976).** Functional properties of ten legume flours. *J Can Inst Food Sci Technol* 9: 66–69
 - **Sparg, S., Light, M. E., & Van Staden, J. (2004).** Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of ethnopharmacology*, 94(2-3), 219-243.
 - **Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., & Pratape, V. M. (2009).** Effect of enzyme pre-dehulling treatments on dehulling and cooking properties of legumes. *Journal of Food Engineering*, 92(4), 389-395.
 - **Sreerama, Y. N., Sashikala, V. B., Pratape, V. M., & Singh, V. (2012).** Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*, 131(2), 462-468.
 - **Summerfield, R. J., & Muehlbauer, F. J. (1982).** Mineral nutrient composition of lentil seeds. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 13(4), 317-333.
 - **Suresh, C. (2013).** Assessment of functional properties of different flours. *African journal of agricultural research*, 8(38), 4849-4852.
 - **Świeca, M., Baraniak, B., & Gawlik-Dziki, U. (2013).** In vitro digestibility and starch content, predicted glycemic index and potential in vitro antidiabetic effect of lentil sprouts obtained by different germination techniques. *Food chemistry*, 138(2-3), 1414-1420.
 - **Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Kowalczyk, D., & Złotek, U. (2012).** Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lens culinaris* sprouts. *Scientia Horticulturae*, 140, 87-95.
 - **Tabekhia, M. M., & Luh, B. S. (1980).** Effect of germination, cooking, and canning on phosphorus and phytate retention in dry beans. *Journal of Food Science*, 45(2), 406-408.
 - **Thapon, J., & Bourgeois, C. L. (1994).** 'Oeuf et lesovoproduits. Paris: Lavousier. *Technique et Documentation*.

- **Thavarajah, D., Ruszkowski, J., & Vandenberg, A. (2008).** High potential for selenium biofortification of lentils (*Lens culinaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10747-10753.
- **Tiwari, B. K., Brennan, C. S., Jaganmohan, R., Surabi, A., & Alagusundaram, K. (2011).** Utilisation of pigeon pea (*Cajanus cajan* L) byproducts in biscuit manufacture. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1533-1537.
- **Torbica, A., Hadnadev, M., & Hadnadev, T. D. (2012).** Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, 48(1), 277-283.
- **Torino MI, Limón RI, Martínez-Villaluenga C, Mäkinen S, Pihlanto A, Vidal-Valverde C, Frias J (2013).** Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils. *Food chemistry*, 136: 1030-1037.
- **Troszynska, A., & Ciska, E. (2002).** Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(1), 15-22.
- **Turfani, V., Narducci, V., Durazzo, A., Galli, V., & Carcea, M. (2017).** Technological, nutritional and functional properties of wheat bread enriched with lentil or carob flours. *Lwt*, 78, 361-366.
- **Urbano G, Lopez-Jurado M, Fernandez M, Moreu MC, Porres-Foulquie J, Frias J, Vidal-Valverde C (1999).** Ca and P bioavailability of processed lentils as affected by dietary fiber and phytic acid content. *Nutrition research* 19: 49-64.
- **Urbano, G., Aranda, P., Vilchez, A., Aranda, C., Cabrera, L., Porres, J. M., & López-Jurado, M. (2005).** Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum*, L. *Food Chemistry*, 93(4), 671-679.
- **Vadivel, V., & Pugalenti, M. (2010).** Evaluation of nutritional value and protein quality of an under-utilized tribal food legume.
- **Vagadia, B. H., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2017).** Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 115-125.
- **Vagadia, B. H., Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2017).** Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 115-125.
- **Vaintraub I A, Lapteva N A (1988).** Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Analytical biochemistry* 175: 227-230.

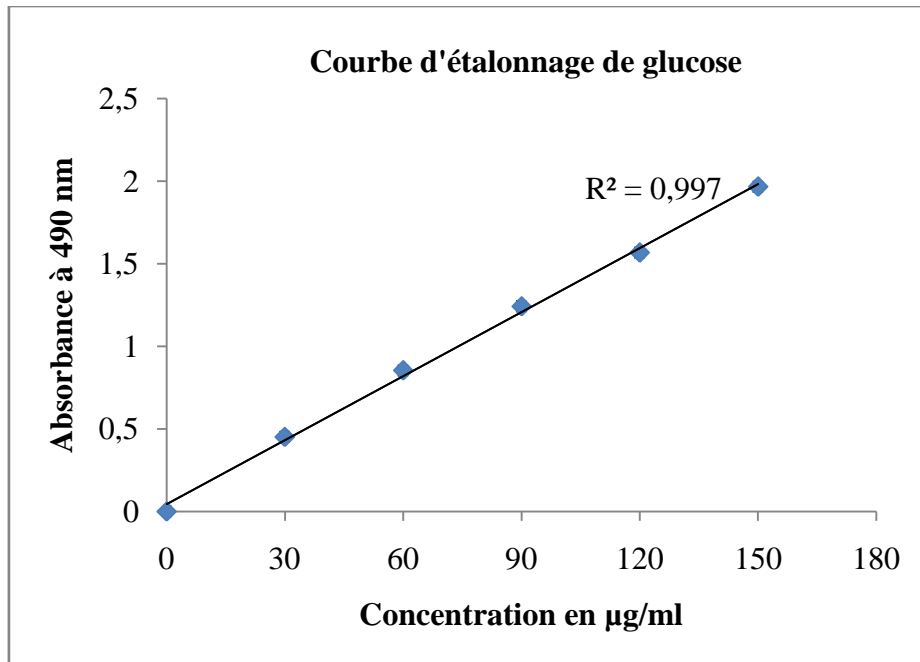
- **Van der Sman, R. G. M., & Renzetti, S. (2019).** Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2225-2239.
- **Van Der Ven, C., Matser, A. M., & Van den Berg, R. W. (2005).** Inactivation of soybean trypsin inhibitors and lipoxygenase by high-pressure processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4), 1087-1092.
- **Vashishth, A., Ram, S., & Beniwal, V. (2017).** Cereal phytases and their importance in improvement of micronutrients bioavailability. *3 Biotech*, 7(1), 1-7.
- **Vidal-Valverde C, Sierra I, Frias J, Prodanov M, Sotomayor C, Hedley CL, Urbano G (2002).** Nutritional evaluation of lentil flours obtained after short-time soaking processes. *European Food Research and Technology* 215: 138-144.
- **Vidal-Valverde, C., Frias, J., & Esteban, R. (1992).** Dietary fiber in processed lentils. *Journal of Food Science*, 57(5), 1161-1163.
- **Vidal-Valverde, C., Frias, J., Estrella, I., Gorospe, M. J., Ruiz, R., & Bacon, J. (1994).** Effect of processing on some antinutritional factors of lentils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2291-2295.
- **Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sierra, I., Blazquez, I., Lambein, F., & Kuo, Y. H. (2002).** New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *European Food Research and Technology*, 215(6), 472-477.
- **Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sotomayor, C., Diaz-Pollan, C., Fernandez, M., & Urbano, G. (1998).** Nutrients and antinutritional factors in faba beans as affected by processing. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 207(2), 140-145.
- **Vijayakumari, K., Siddhuraju, P., Pugalenti, M., & Janardhanan, K. (1998).** Effect of soaking and heat processing on the levels of antinutrients and digestible proteins in seeds of *Vigna aconitifolia* and *Vigna sinensis*. *Food Chemistry*, 63(2), 259-264.
- **Wang N, Hatcher DW, Toews R, Gawalko EJ (2009).** Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). *LWT-Food Science and Technology* 42: 842-848.
- **Wang, N., & Daun, J. K. (2006).** Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry*, 95(3), 493-502.
- **Wang, N., Warkentin, T. D., Vandenberg, B., & Bing, D. J. (2014).** Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion. *Food Research International*, 55, 119-127.

- **Wójtowicz, A., & Mościcki, L. (2014).** Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1175-1185.
- **Xu B, Chang SK (2008).** Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food chemistry* 110: 1-13.
- **Xu BJ, Chang SKC (2007).** A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science* 72: S159-S166.
- **Xu, B., & Chang, S. K. (2010).** Phenolic substance characterization and chemical and cell-based antioxidant activities of 11 lentils grown in the Northern United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(3), 1509-1517.
- **Yaacoub R., 2009.** Impact nutritionnel et sanitaire de la torréfaction des fruits et graines oléagineux. Thèse doctorat en Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Ecole doctorale ABIES, Agro Paris Tech. 337p
- **Yadav, R. B., Yadav, B. S., & Dhull, N. (2012).** Effect of incorporation of plantain and chickpea flours on the quality characteristics of biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 207-213.
- **Yeo J, Shahidi F (2017).** Effect of hydrothermal processing on changes of insoluble-bound phenolics of lentils. *Journal of Functional Foods* 38: 716-722.
- **YOSHIDA, H., & KAJIMOTO, G. (1988).** Effects of microwave treatment on the trypsin inhibitor and molecular species of triglycerides in soybeans. *Journal of food science*, 53(6), 1756-1760.
- **Yusufu, M. I., Obiegbuna, J. E., & Yusufu, P. A. (2015).** Studies on the utilization of green bean as raw material in cookies produced from wheat flour. *Agricultural Science Research Journal*, 5(6), 92-97.
- **Zakaria Z, Aziz R, Lachimanan YL, Sreenivasan S, Rathinam X (2008).** Antioxidant activity of *Coleus blumei*, *Orthosiphonstamineus*, *Ocimumbasilicum* and *Menthaarvensis* from Lamiaceae family. *Int J Nat EngSci* 2: 93-95.
- **Zhang B, Deng Z, Ramdath DD, Tang Y, Chen PX, Liu R, Tsao R (2015).** Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry* 172: 862-872.
- **Zhang B, Deng Z, Tang Y, Chen PX, Liu R, Ramdath DD, Tsao R (2014).** Effect of domestic cooking on carotenoids, tocopherols, fatty acids, phenolics, and antioxidant

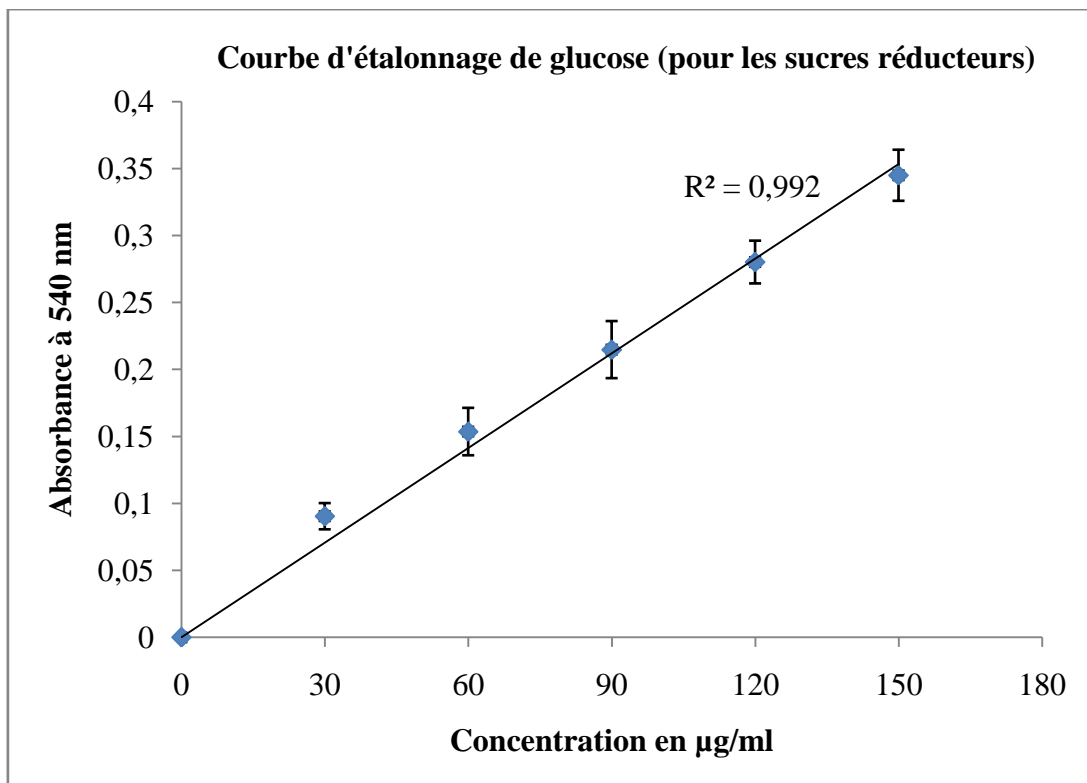
- activities of lentils (*Lens culinaris*). *Journal of agricultural and food chemistry* 62: 12585-12594.
- **Zhang B, Peng H, Deng Z, Tsao R (2018)**. Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and anti-inflammatory effects. *Journal of Food Bioactives* 1: 93-103.
 - **Zia-Ul-Haq, M., Ahmad, S., Shad, M. A., Iqbal, S., Qayum, M., Ahmad, A., ... & Amarowicz, R. (2011)**. Compositional studies of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars commonly grown in Pakistan. *Pak. J. Bot*, 43(3), 1563-1567.
 - **Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. D. (2011)**. Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2070-2076.

Annexes

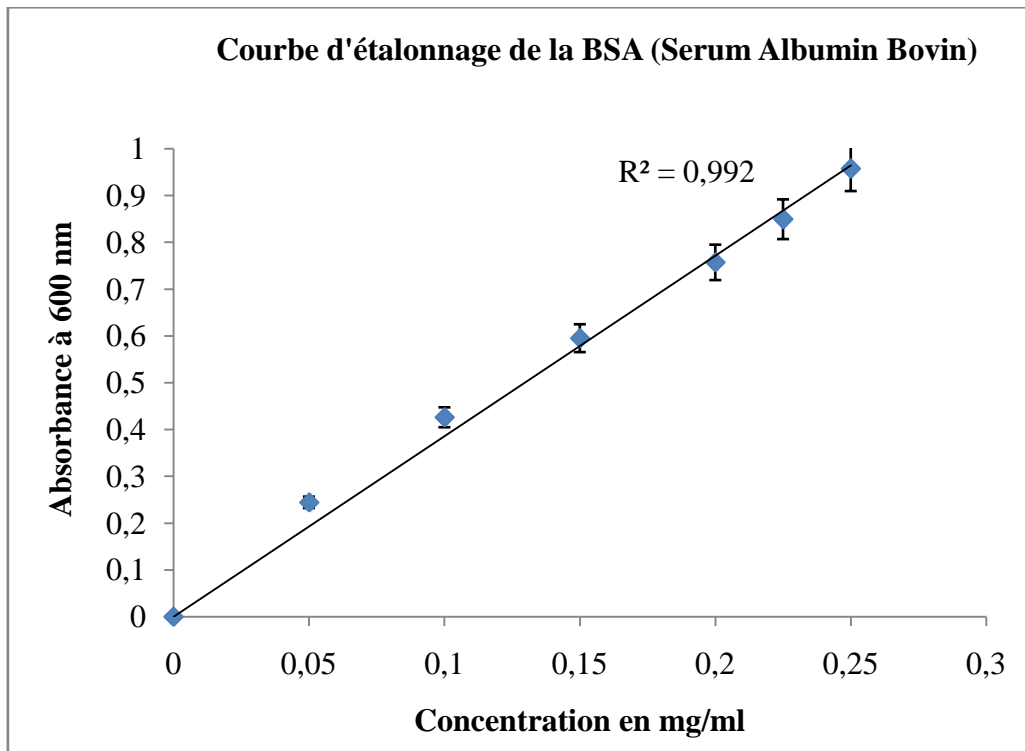
Annexe 1 : Courbe d'étalonnage de glucose



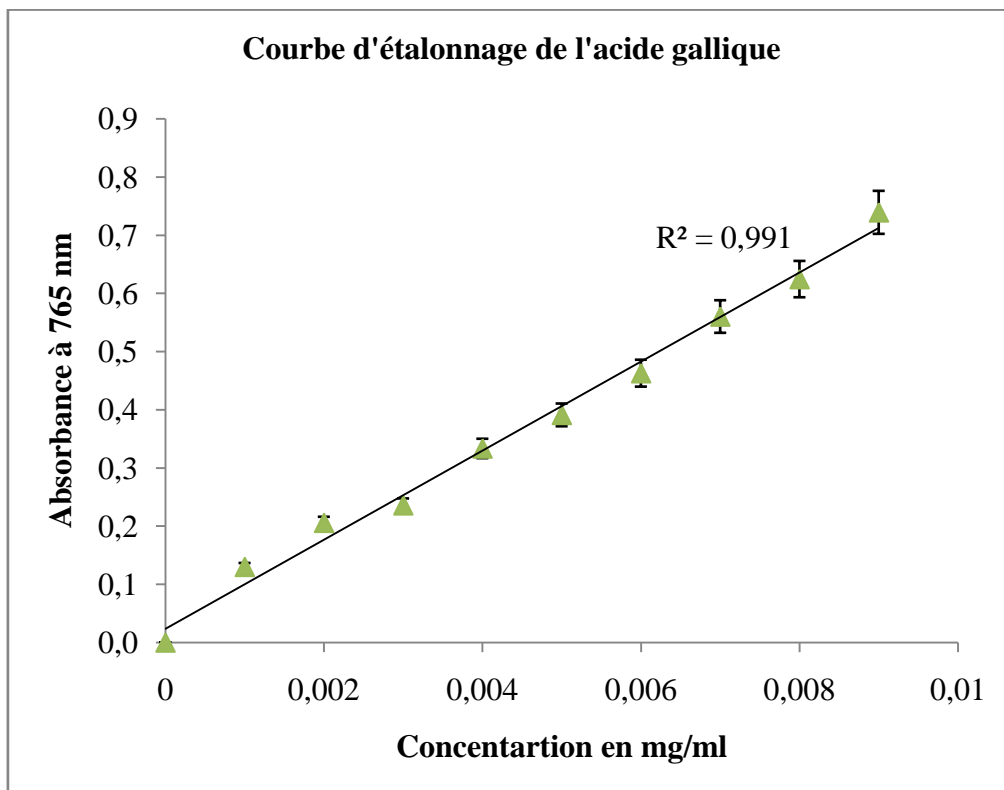
Annexe 2 : Courbe d'étalonnage de glucose (pour les sucres réducteurs)



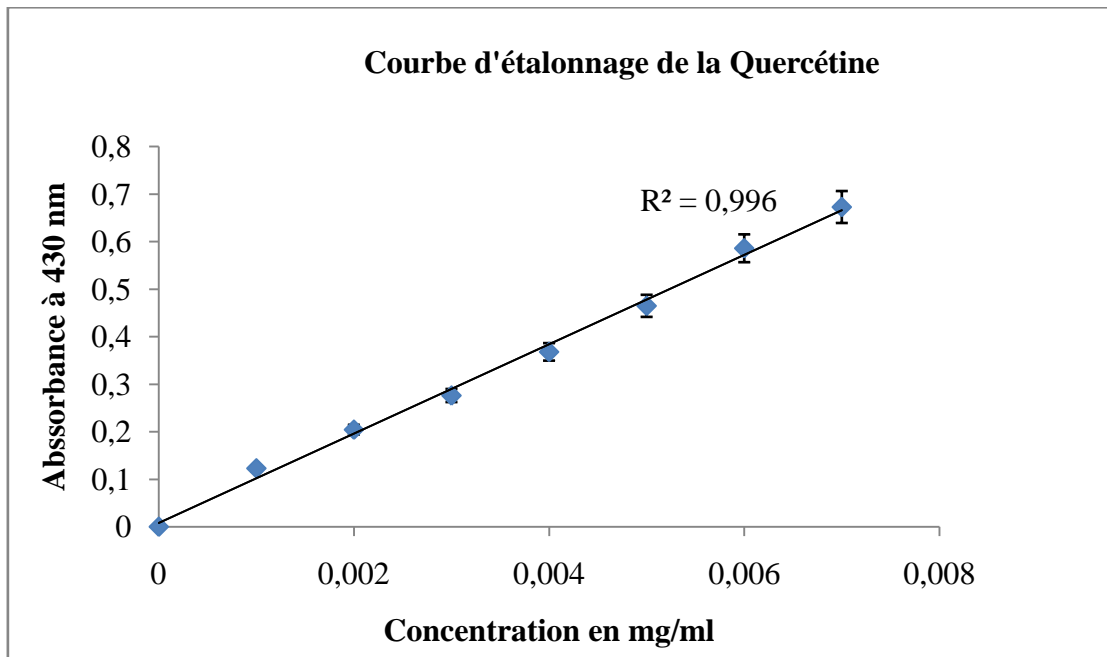
Annexe 3 : Courbe d'étalonnage du sérum albumin bovin (BSA)



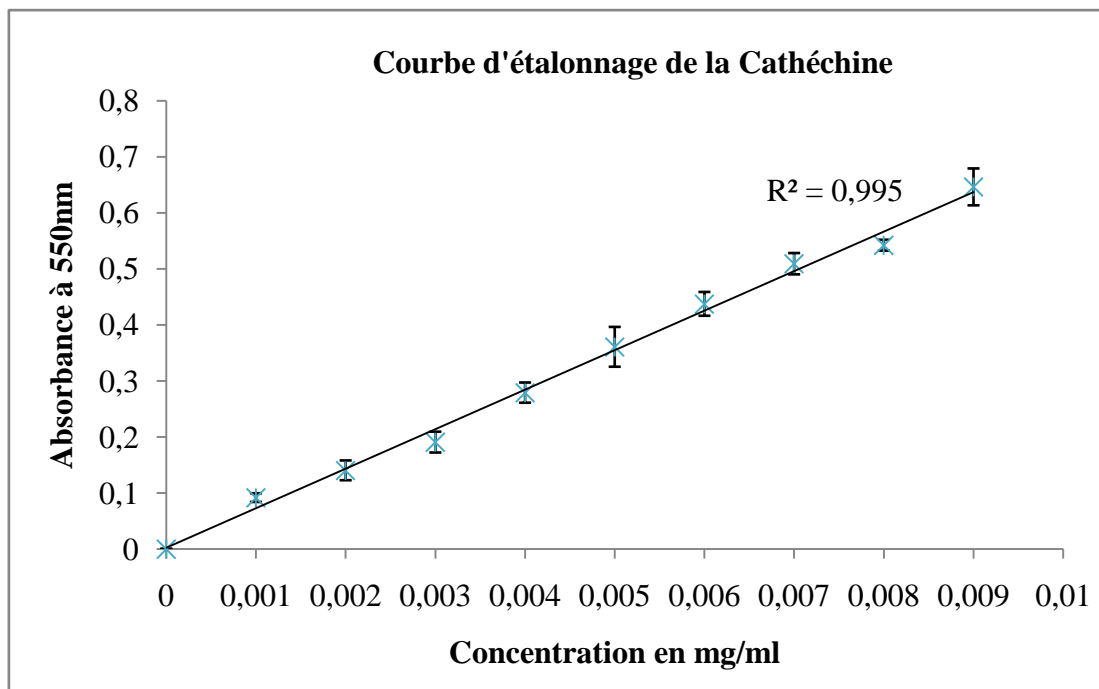
Annexe 4 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique



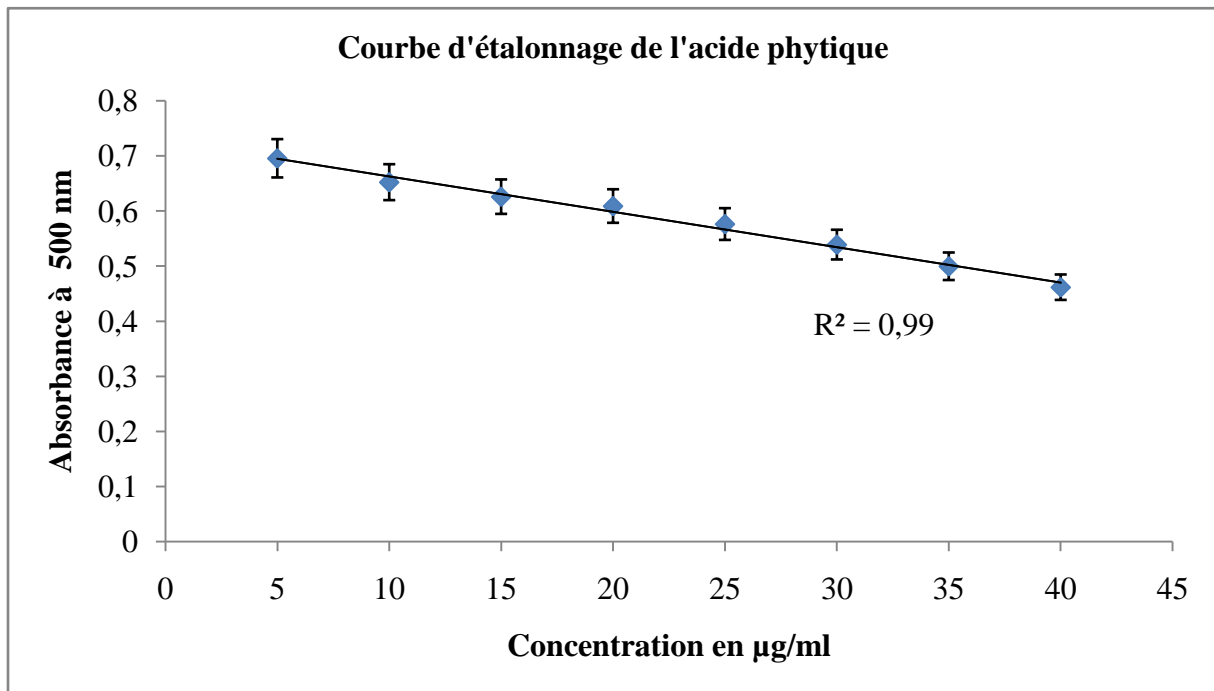
Annexe 5 : Courbe d'étalonnage de la Quercétine



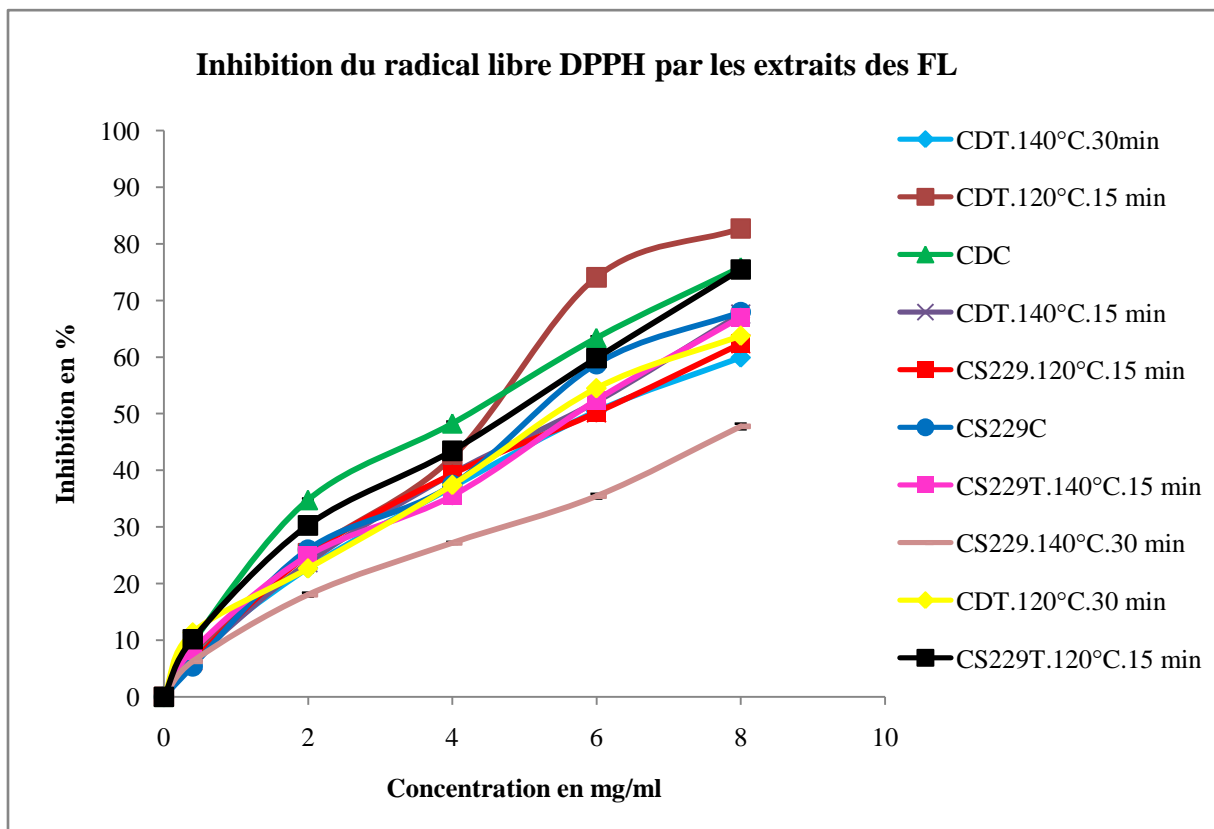
Annexe 6 : Courbe d'étalonnage de la cathéchine



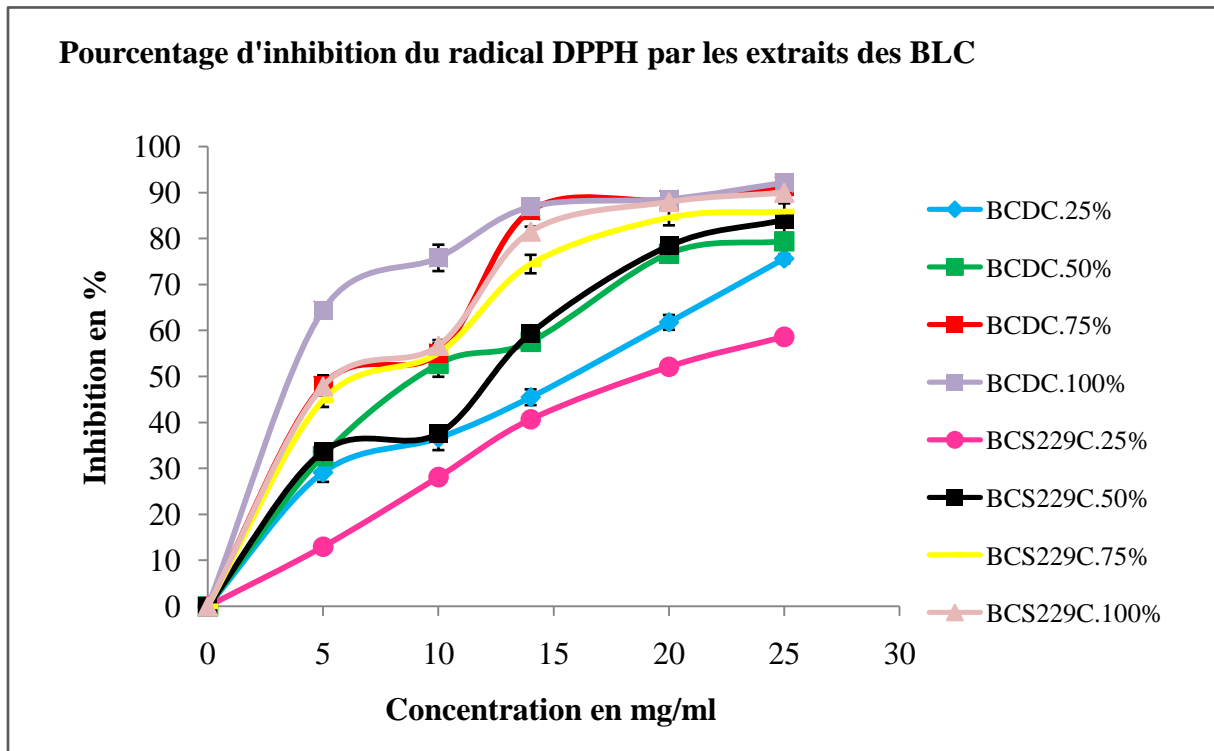
Annexe 7 : Courbe d'étalonnage de l'acide phytique



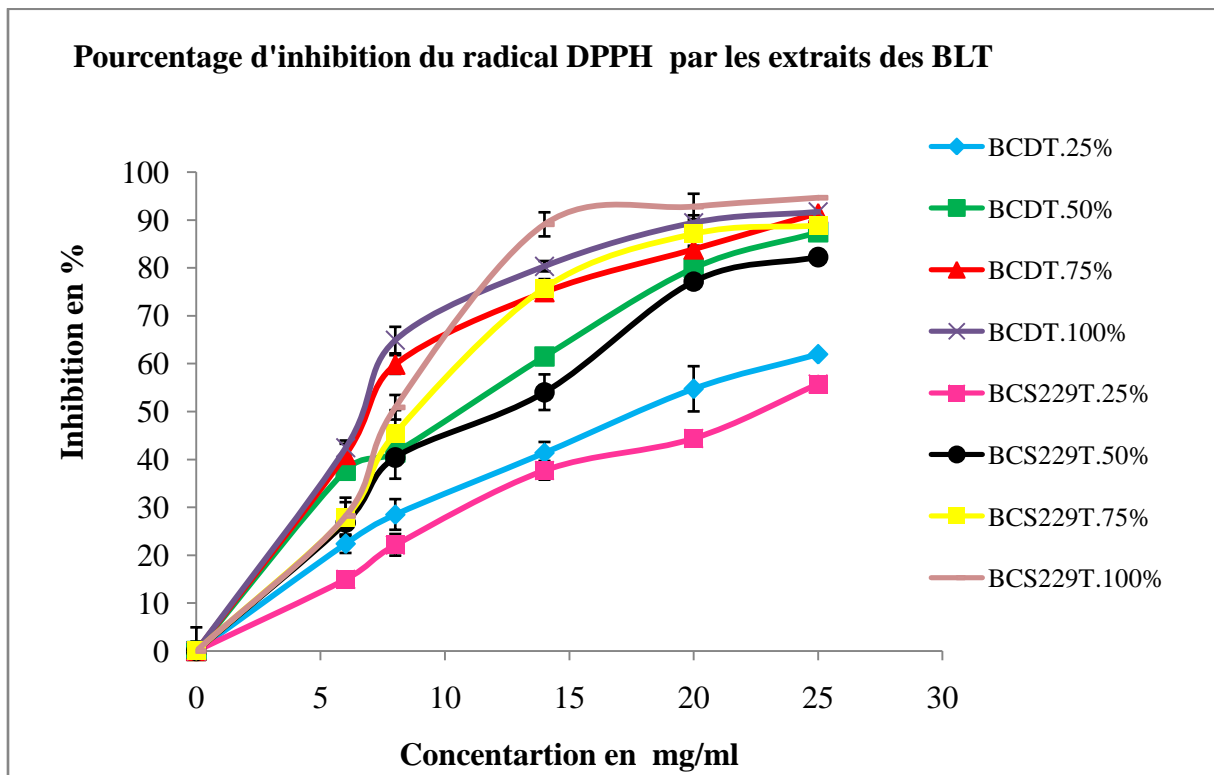
Annexe 8 : Courbes d'inhibition du radical DPPH par les extraits des FL

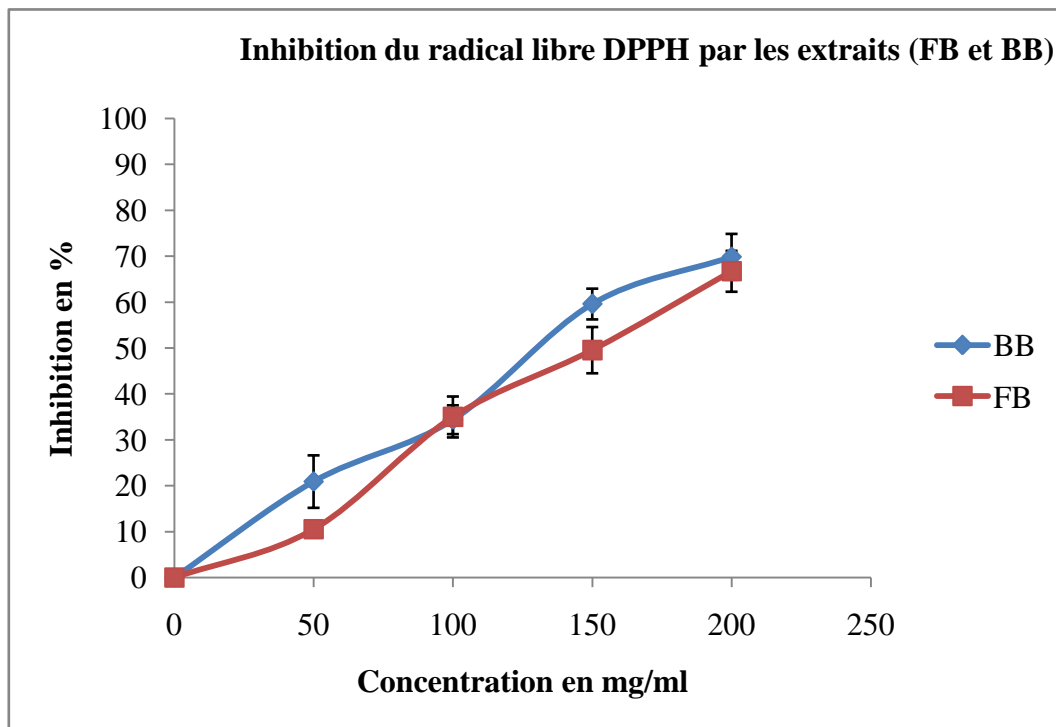
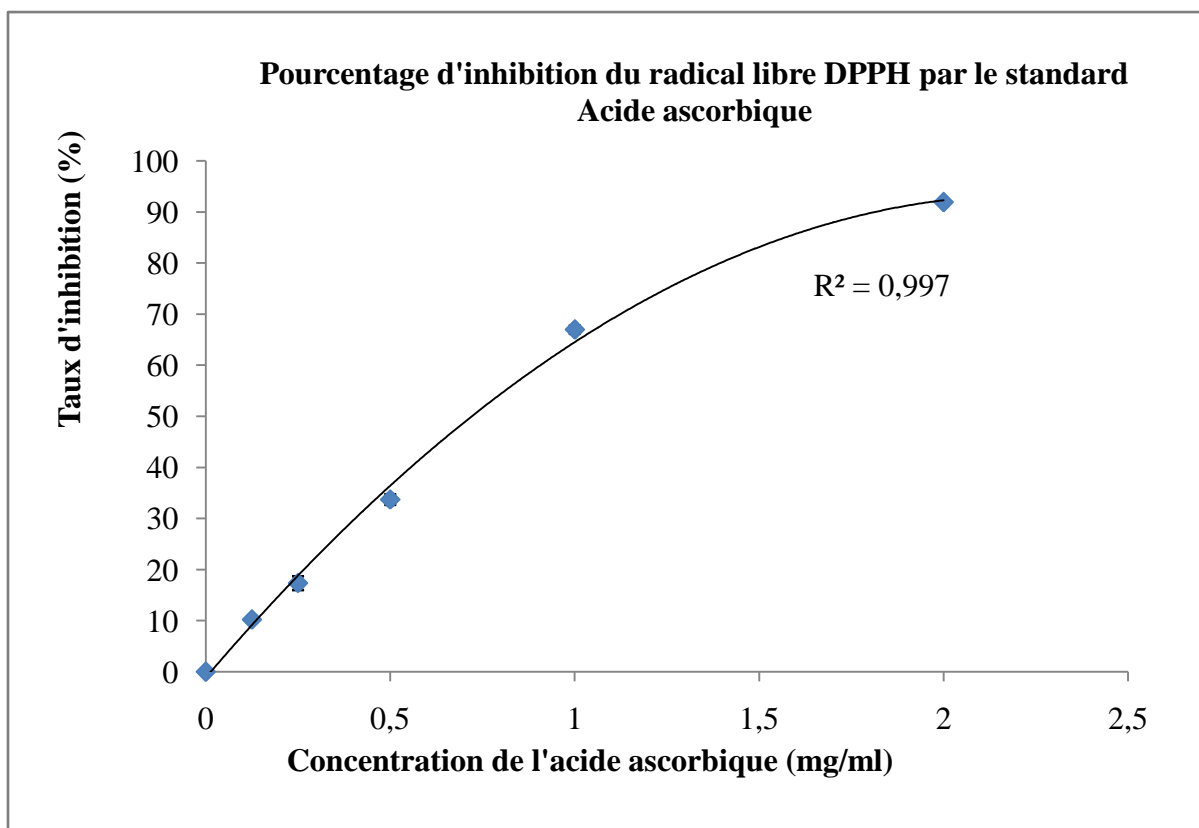


Annexe 9 : Courbe d'inhibition du radical DPPH par les extraits des biscuits de lentilles crues

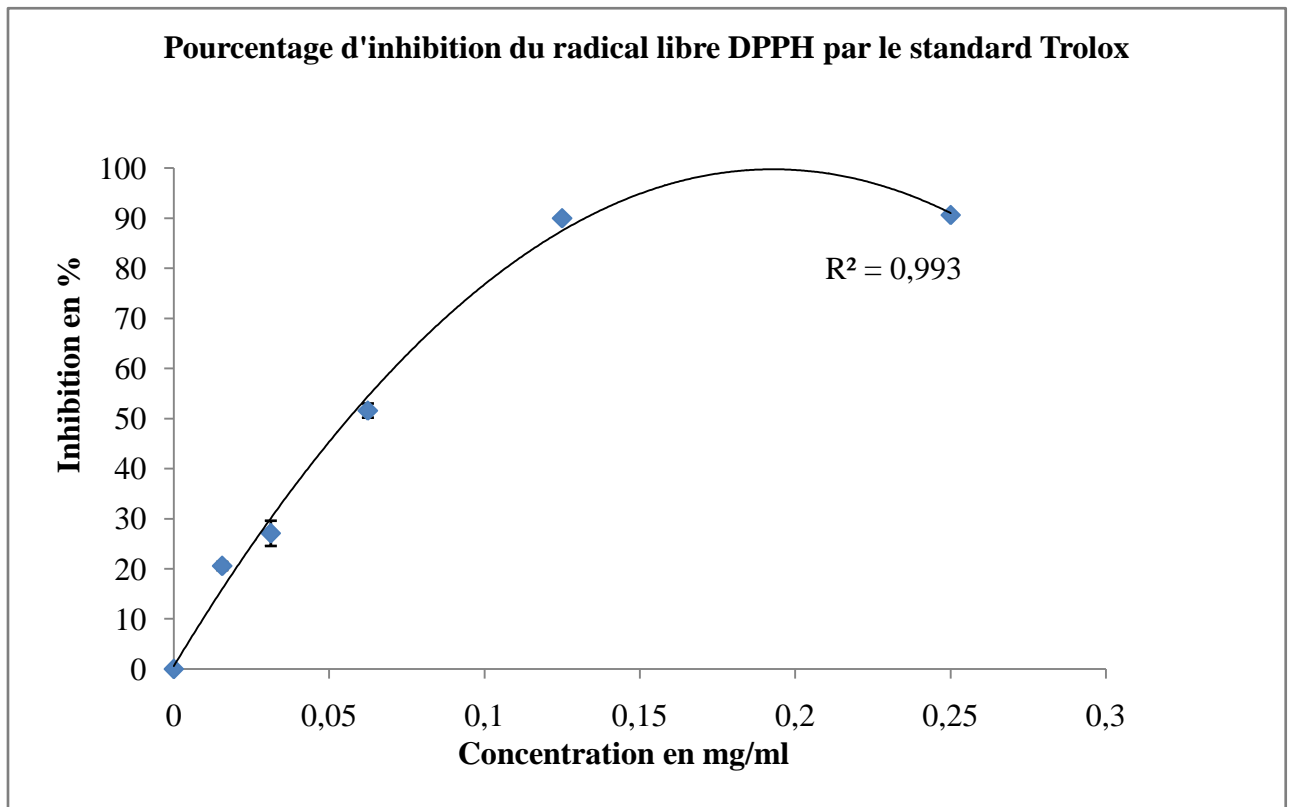


Annexe 10 : Courbe d'inhibition du radical DPPH par les extraits des biscuits de lentilles torréfiées

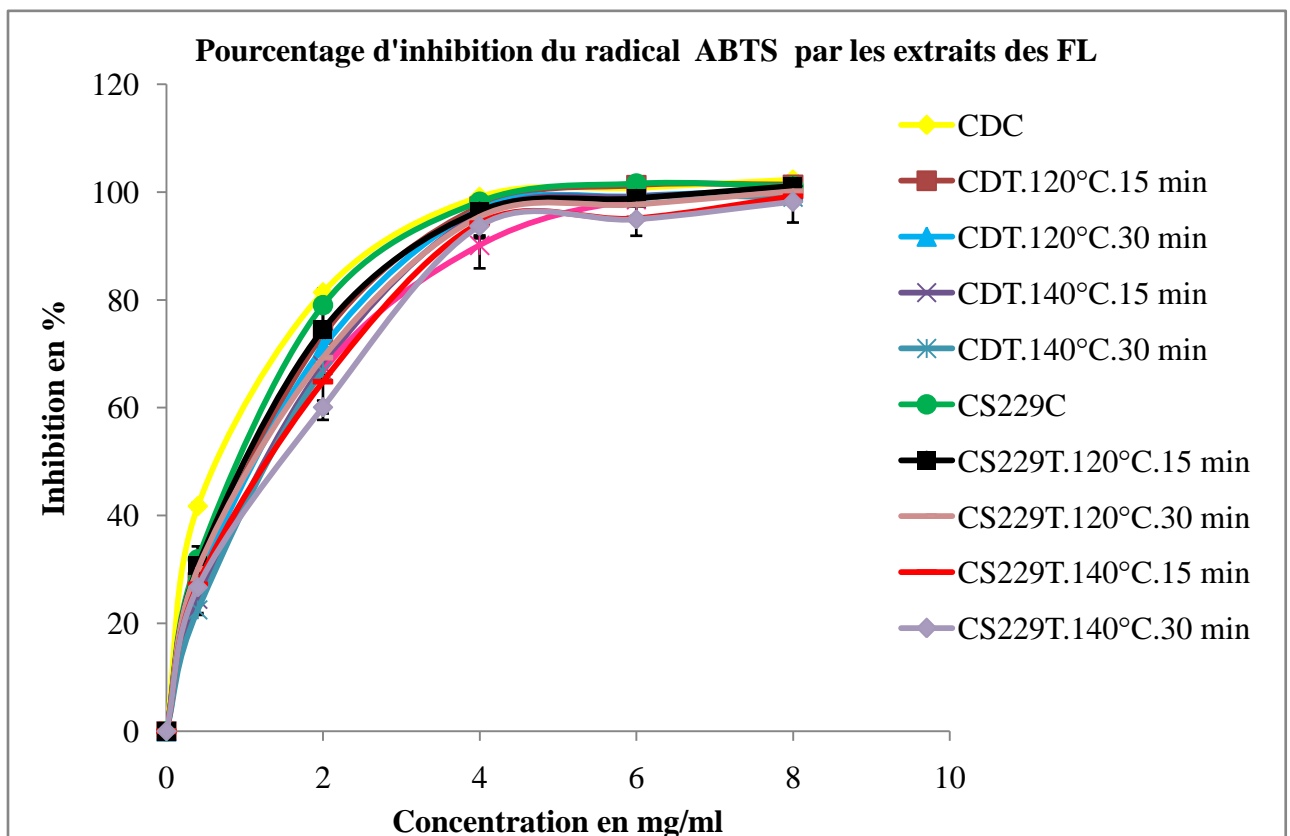


Annexe 11 : Courbe d'inhibition du radical DPPH par les extraits des biscuits de blé et de la farine de blé**Annexe 12 : Courbe d'inhibition du radical DPPH par l'acide ascorbique**

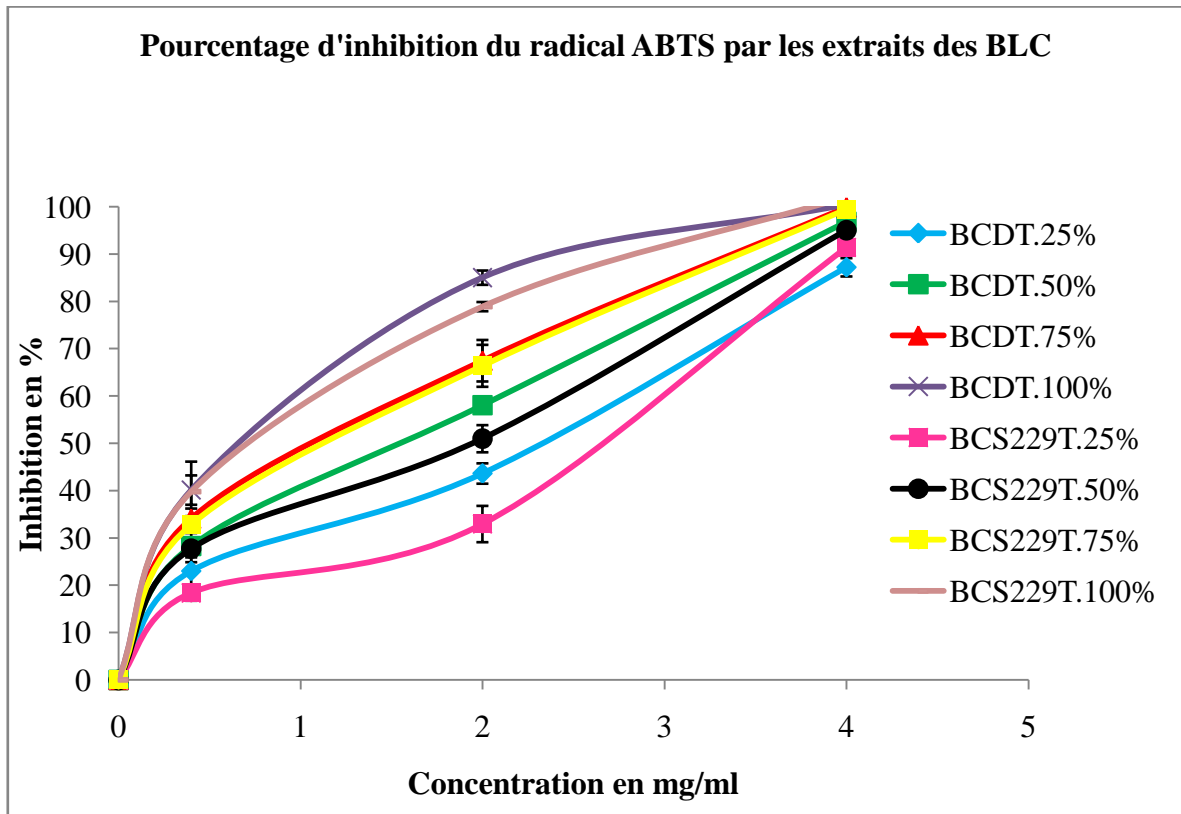
Annexe 13 : Courbe d'inhibition du radical DPPH par le Trolox



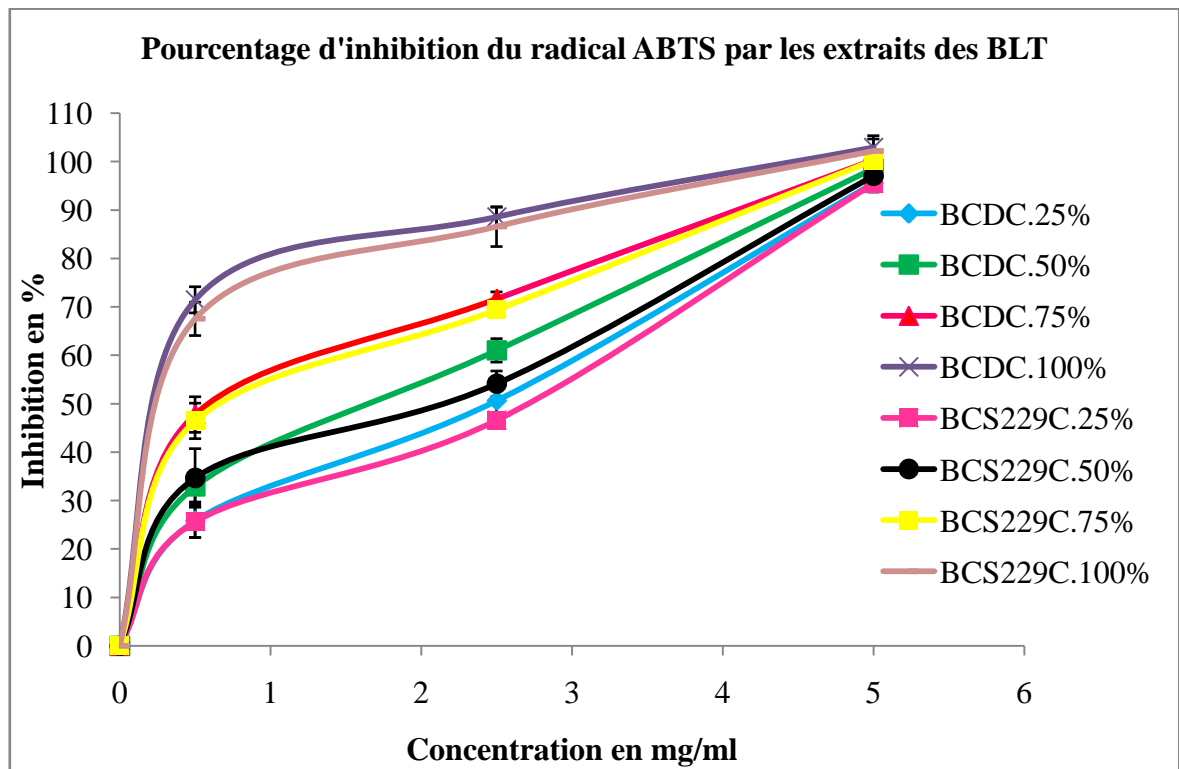
Annexe 14 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par les extraits des FL



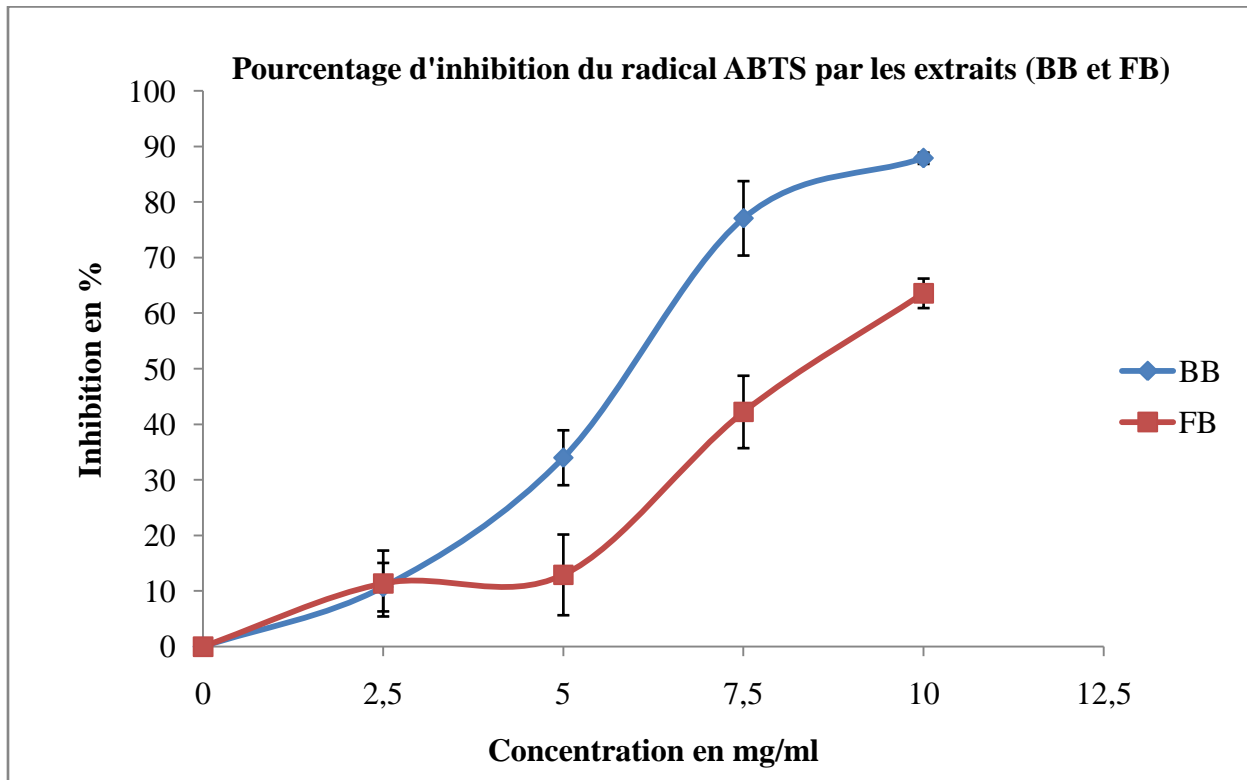
Annexe 15 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par les extraits des biscuits de lentilles crues



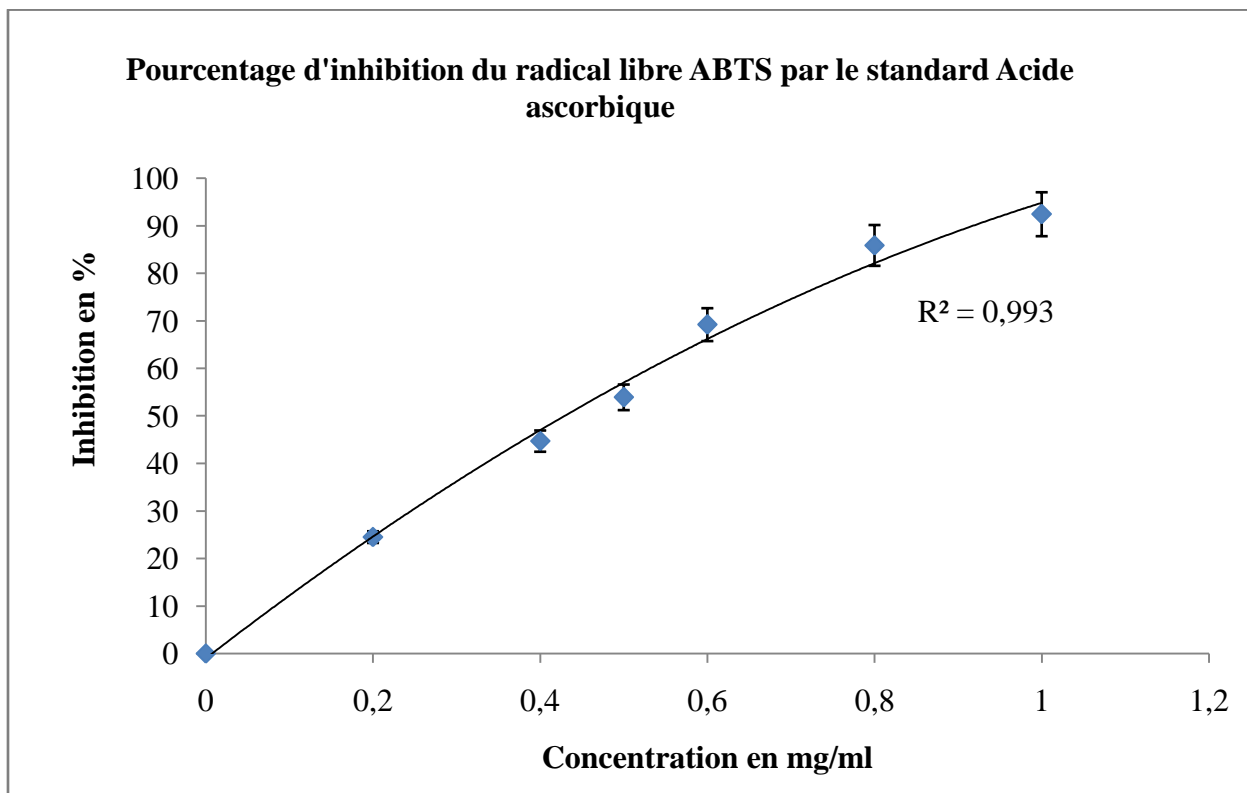
Annexe 16 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par les extraits des biscuits de lentilles torréfiées



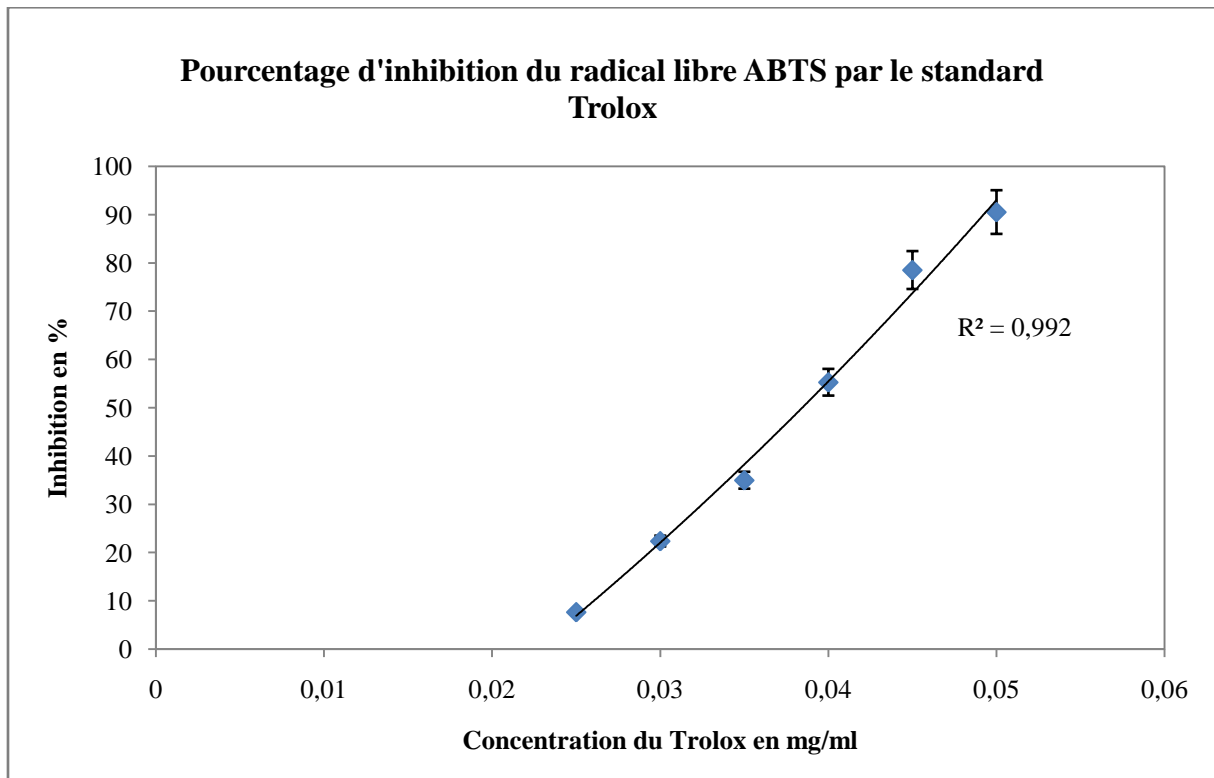
Annexe 17 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par les extraits des biscuits de blé et des extraits de la farine de blé



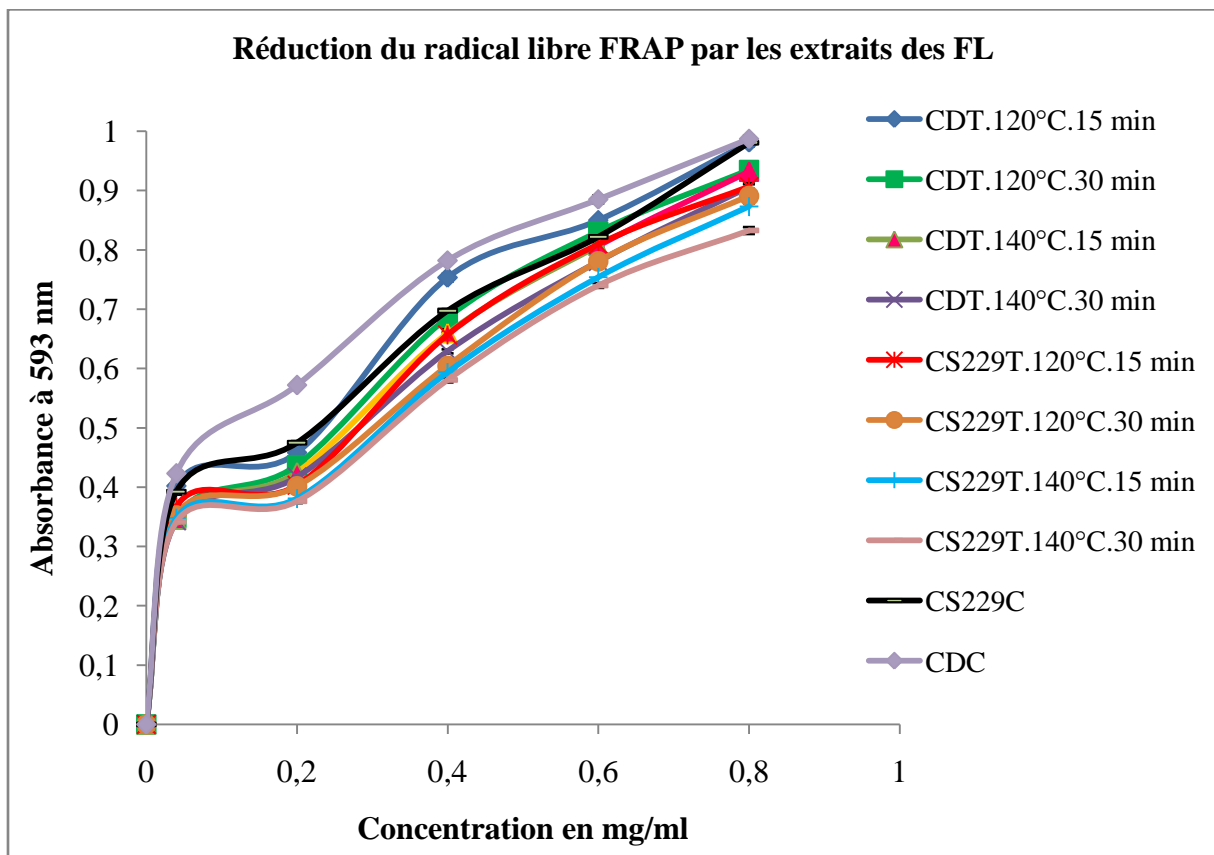
Annexe 18 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par l'acide ascorbique



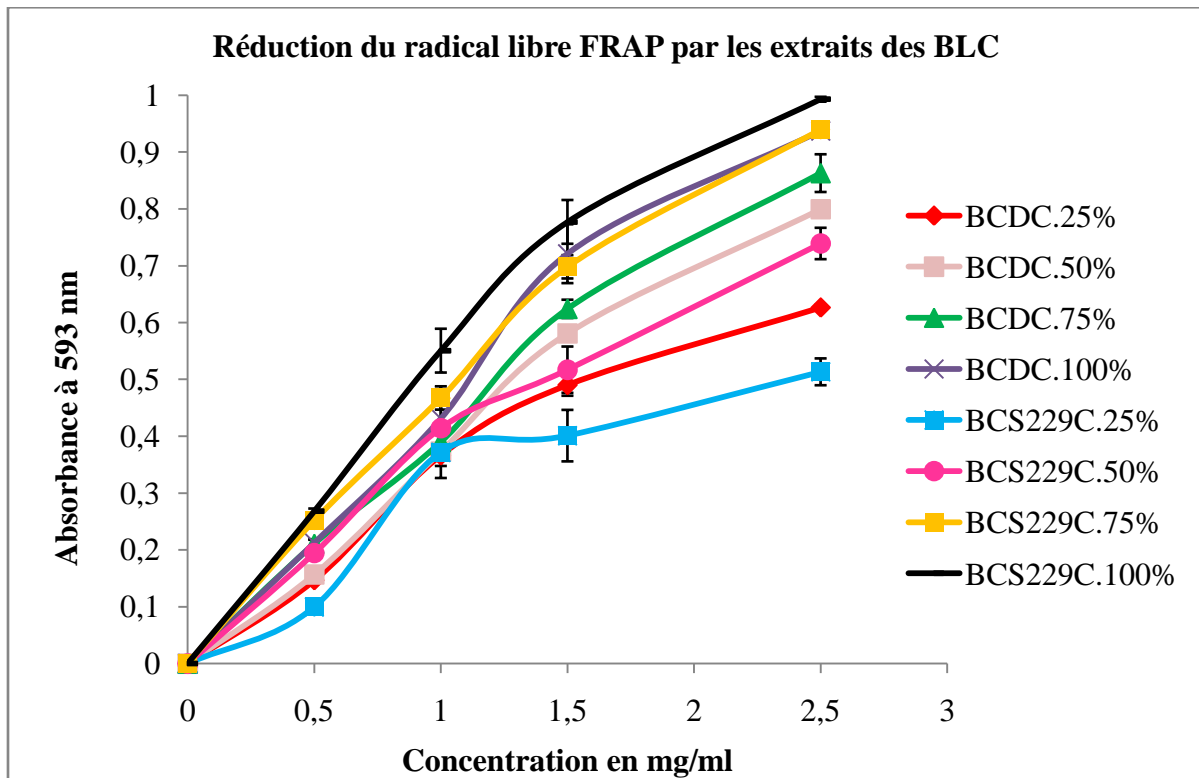
Annexe 19 : Courbe d'inhibition du radical ABTS par le Trolox



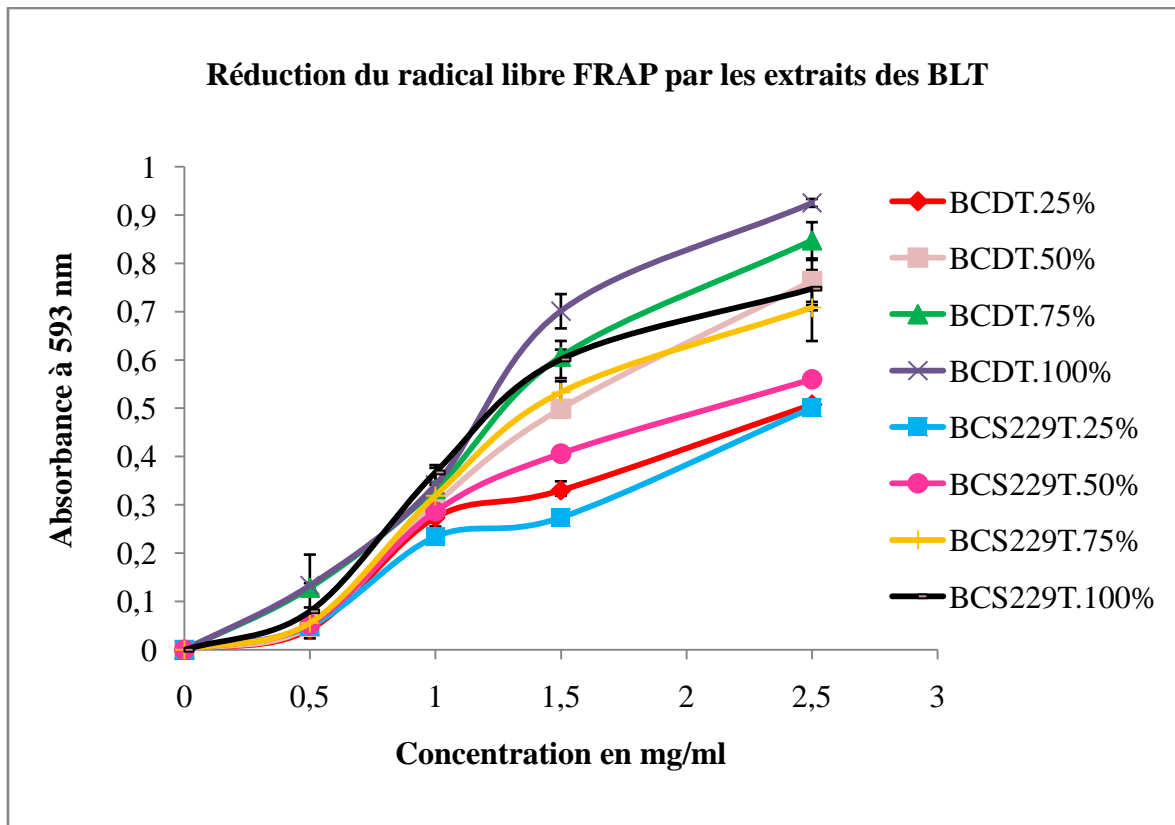
Annexe 20 : Courbe de réduction du radical FRAP par les extraits des FL



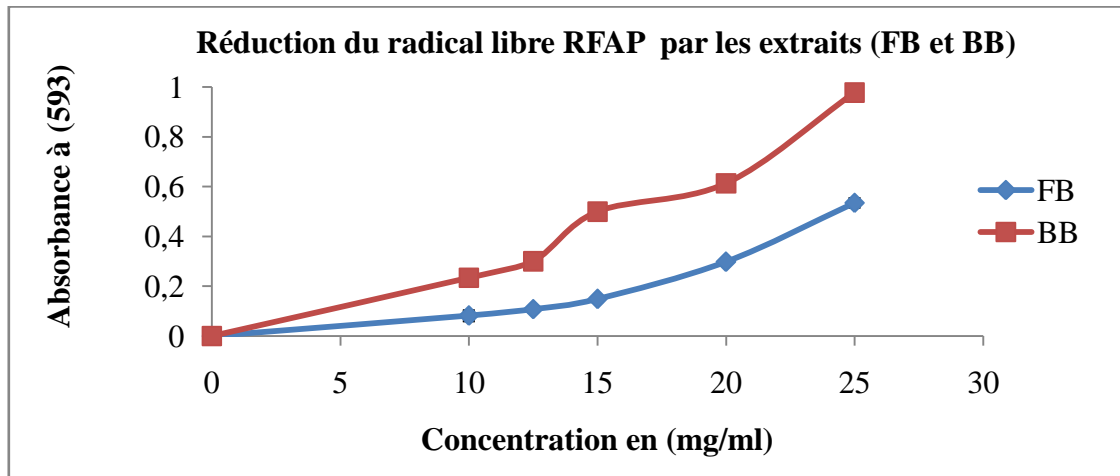
Annexe 21 : Courbe de réduction du radical FRAP par les extraits des BLC



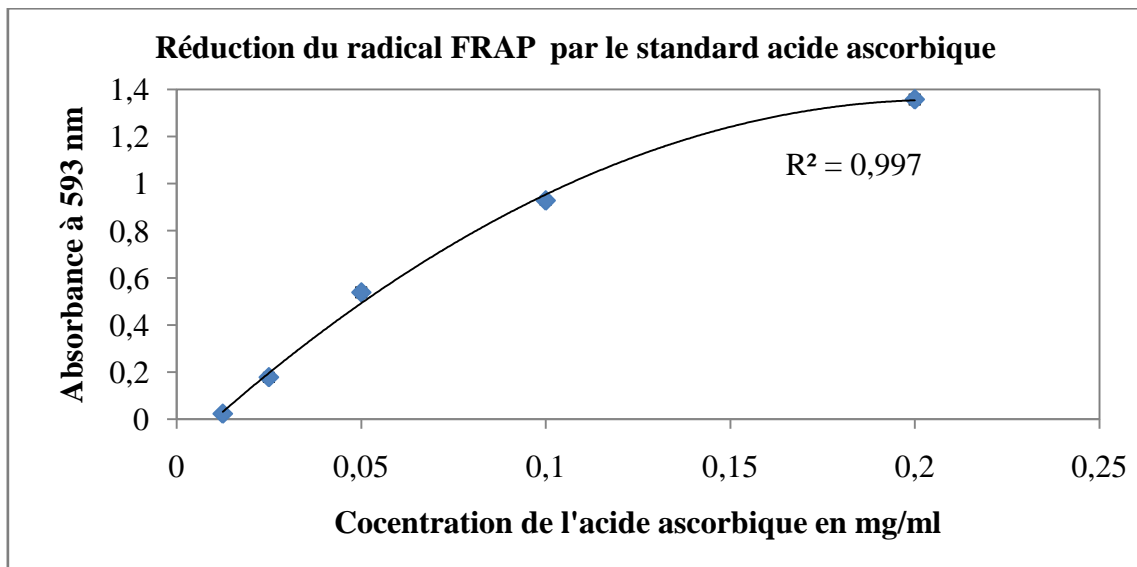
Annexe 22 : Courbe de réduction du radical FRAP par les extraits des BLT



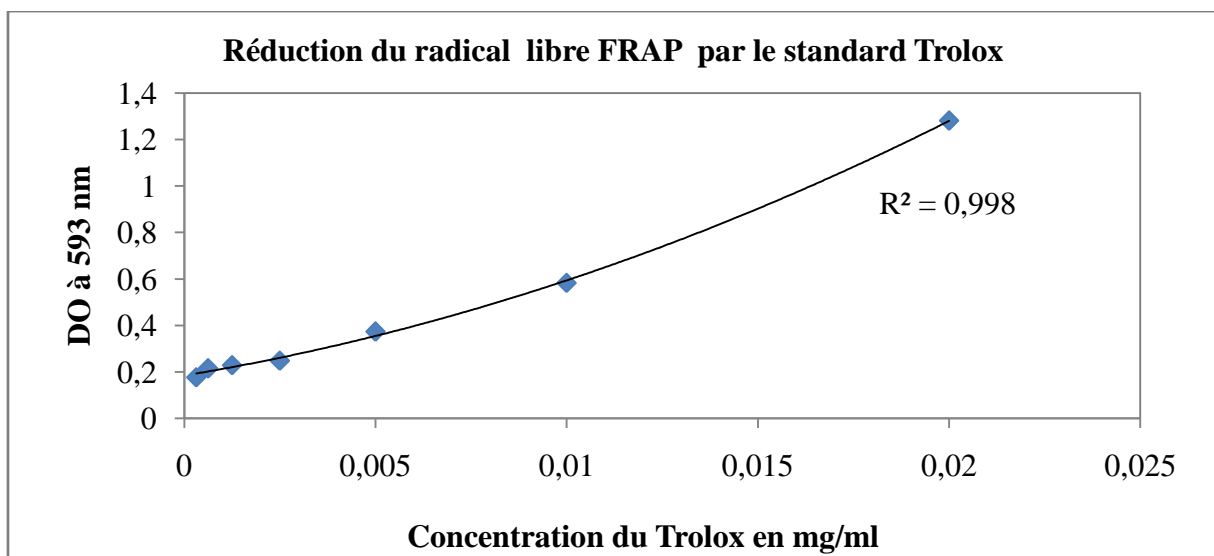
Annexe 23 : Courbe de réduction du radical FRAP par les extraits des biscuits de blé et des extraits de la farine de blé



Annexe 24 : Courbe de réduction du radical FRAP par l'acide ascorbique



Annexe 25 : Courbe de réduction du radical FRAP par le Trolox



Annexe 26 : Questionnaire de l'enquête sur l'état des lieux de consommation des légumineuses en Algérie

Enquête sur l'état des lieux de consommation des légumineuses en Algérie

Le questionnaire auquel vous vous apprêtez à répondre a été réalisé par des étudiants en agronomie dans un but pédagogique. Vos réponses sont anonymes, aucun de ces résultats ne sera utilisé à des fins commerciales ou publicitaires. Ils alimenteront la recherche sur les modes et pratiques de consommation alimentaire.

Votre profil

➤ **Vous êtes:**

Un homme

Une femme

➤ **Votre âge:**

moins de 18 ans	18-24 ans	25-29 ans	30-39 ans	40-49 ans	50-64 ans	65 ans ou plus

➤ **Votre revenu mensuel:**

Pas de revenu	Entre 30000 et 40000 DA
Moins de 20000 DA	Entre 40000 et 60000 DA
Entre 20000 et 30000 DA	Plus de 60000 DA

➤ **Vous vivez :**

Seul(e)

En couple

En couple avec un ou plusieurs enfants

➤ **Quel est votre niveau de formation actuel ?**

Universitaire

primaire

secondaire

autre

➤ **Où faites-vous généralement vos courses** (Veuillez sélectionner entre 1 et 3 réponses)

Au supermarché		Commerce de proximité	
Au marché		Sur internet	

➤ **Faites-vous vos courses à intervalles de temps réguliers?**

Oui

Non

➤ **Si oui précisez cet intervalle :**

Une fois par semaine

deux fois par semaine

plus (Précisez) :

➤ **La date limite de consommation (DLC) est-elle un critère de choix dans vos achats ?**

Oui

Non

➤ **Vous arrive-t-il d'acheter des légumineuses ?**

Oui plusieurs fois par mois

Oui occasionnellement

Presque jamais

Jamais

➤ **Avez-vous l'habitude de prévoir vos achats, en constituant par exemple une liste de courses ?** Oui Non

➤ **Prévoyez-vous à l'avance vos repas, en constituant par exemple des menus ?**

Oui

Non

➤ **Habituellement, mangez-vous des légumes secs (haricots secs, lentilles, pois chiches etc.) chaque semaine ?** Oui Non

➤ **En moyenne, à quelle fréquence achetez-vous des légumineuses? (/ sem. = / semaine)**

	Plus de 3 fois / sem.	3 fois / sem.	2 fois / sem.	1 fois / sem.	2-3 fois / mois	1 fois / mois	Moins souvent	Jamais
En grandes surfaces : (supermarchés)								
Au marché								

❖ Dans la question suivante (tableau), nous vous demanderons de donner votre degré d'accord avec toutes les affirmations qui vous seront présentées. Vous devrez alors attribuer une note de 1 à 7 à chacune de ces affirmations.

➤ **Vous souvenez-vous (même approximativement) de votre dernier achat de légumineuses en grande surface ?** Oui Non

➤ **Par rapport à cette expérience d'achat de légumineuses:**

	1	2	3	4	5	6	7
Dans cet endroit, les légumineuses sont présentées de manière attrayante.							
Dans ce lieu, les étalages de légumineuses sont agréables à regarder.							
J'aime bien l'aspect de la présentation des légumineuses dans ce lieu.							
Je trouve que l'ambiance du lieu pour acheter mes légumineuses est distrayante.							
On ne fait pas que vendre des légumineuses, c'est aussi un endroit distrayant.							
L'ambiance de cet endroit pour acheter mes légumineuses est sympathique.							
Je vais là avant tout pour la qualité des légumineuses							
Les légumineuses sont plutôt meilleures qu'ailleurs.							
Je fais mes courses de légumineuses à cet endroit car c'est pratique et ça convient bien à mon emploi du temps.							
Dans l'ensemble, j'y suis satisfait(e) des prix des légumineuses.							
Je trouve que les prix pratiqués sont trop élevés par rapport à la qualité des légumineuses							

Le rapport qualité – prix des légumineuses y est excellent.							
Il y a un intérêt éthique et moral pour moi dans la façon dont les légumineuses vendues dans cet endroit ont été produits.							
Je cherche à rendre ma consommation utile.							

➤ **Consommez-vous des légumineuses...**

- Secs En conserve (précuites et conservées dans des boîtes métalliques ou en verre)

➤ **A quelle fréquence consommez-vous des légumineuses?**

	1 à plusieurs fois par mois, combien de fois par semaine: 1 fois ou bien 2 fois	
	A l'année occasionnellement, combien de fois par an :	

➤ **A quelle fréquence consommez-vous des légumineuses en conserve ?**

	1 à plusieurs fois par mois, combien de fois par mois :	
	A l'année occasionnellement, combien de fois par an :	

➤ **Quand vous consommez des plats préparés à base de légumineuses ou quand vous cuisinez vous-même vos plats, vous arrive-t-il d'avoir des restes ?**

- Oui Non

➤ **Consommez-vous des plats de légumineuses précuits vendus en boîtes de conserve sur le marché ?** Oui Non

➤ **Si oui, Combien de fois :** Souvent Rarement Jamais

➤ **ces plats contiennent généralement :**

- Des graines de légumineuses avec des légumes.
 Des graines de légumineuses avec des viandes.
 Autre (précisez).....

➤ **Consultez-vous le tableau de valeur nutritive des étiquettes alimentaires?**

- Oui Non Rarement

➤ **Mangez-vous des préparations à base de légumes secs (saucisses lentilles, couscous si il y a des pois chiches, etc.).** Oui Non

➤ **Si oui combien de fois en mangez-vous par semaine ?**

- 1 fois 2 fois 3 fois 4 fois et plus

➤ **Si non combien de fois en mangez-vous ?**

- 2 à 3 fois par mois Une fois par mois ou moins Jamais

➤ **Sentez-vous un goût végétal quand vous mangez des plats à base de légumineuses?**

- Oui Non

➤ **Ce goût est t'il acceptable pour vous ?**

- Oui Non moyennement

➤ **Savez-vous qu'il y a des variétés locales de légumineuses sur le marché ?**

Oui Non

➤ **Préférez-vous consommer des variétés de légumineuses :**

Locales Etrangères

➤ **parmi les légumineuses, vous préférez les :** (vous pouvez choisir tous les types)

lentilles haricots blancs Petits pois pois chiches
fèves fèverole

➤ **Maintenant classer ces légumineuses selon vos préférences :** (mettez un chiffre)

lentilles haricots blancs Petits pois pois chiches
fèves fèverole

➤ **Pourquoi préférez- vous ce type de légumineuses par rapport aux autres :**

c'est moins cher		c'est le plus disponible	
c'est plus délicieux		c'est étranger	
c'est plus nutritif		c'est local	
c'est rapide et facile à cuire		c'est pratique.	
toute la famille le préfère		je pense que ce n'est pas des OGM	
Autres : précisez			

➤ **Pourquoi vous n'appréciez pas le reste des légumineuses?**

c'est cher		c'est moins disponible	
ce n'est pas délicieux		c'est étranger	
c'est moins nutritif		c'est local	
Ça nécessite un temps de cuisson long		ce n'est pas pratique.	
C'est toute ma famille qui ne l'apprécie pas		je m'inquiet que ça sera des OGM	
ça cause des flatulences		Autres : précisez	

➤ **La consommation de vos légumes secs préférés est-elle liée à la saison?**

Oui Non

➤ **Cette consommation est-elle plus fréquente en ?**

	lentilles	Haricot blancs	fèves	fèverole	Pois chiche	Petit pois
Automne						
Eté						
Printemps						
Hiver						

➤ **Vous arrive-t-il de ne pas avoir consommé des légumineuses le fait que votre famille ne le veut pas ?**

Oui Non

➤ **Selon vous, pourquoi les légumineuses ne sont pas largement consommées par le consommateur algérien ? cela est peut-être lié à leur :**

Prix goût indésirable mode de cuisson peu disponibles sur le marché
 Très peu de recettes dans la cuisine algérienne mode de préparation compliqué

➤ **Comment consommez-vous vos légumineuses?**

	lentilles	fèves	fêverole	Pois chiche	Petit pois	fèves	Combien de fois par mois
Accompagnés de couscous							
En soupe							
En salade							
Avec des pâtes							
Autre : spécifiez							

➤ **Quel est le mode de préparation de vos légumineuses?**

cuisson directe	trempage dans l'eau pendant la nuit puis cuisson	utilisation de bicarbonate de sodium pour la cuisson	Cuisson sous pression	Autre (précisez) :..

➤ **S'il existe un ustensile permettant de raccourcir le temps de préparation des plats de légumineuses, seriez vous prêt à l'acheter et l'utiliser**

Oui Non

➤ **Quelle serait alors votre consommation de légumineuses?**

	1 fois par semaine	
	2 fois par semaine	
	Plusieurs fois par mois, combien de fois	
	A l'année occasionnellement, combien de fois	

➤ **Pensez vous que les légumineuses sont nutritifs pour l'être humain?**

Oui Non

➤ **Savez vous que les légumineuses sont riches en protéines végétales?**

Oui Non

➤ **Classer maintenant ces groupes d'aliments selon (mettez un chiffre dans les cellules devant chaque aliment):**

	Vos préférences
Viandes	
produit laitier	
Légumineuses	
Céréales	
Fruits et légumes	
Poissons	

➤ **Vos enfants sont-ils consommateurs de légumineuses ?**

Oui Non

➤ **Quel type de légumineuses consomment-ils fréquemment ?** (vous pouvez choisir tous les types)

lentilles haricots blancs Petits pois pois chiches
fèves fêverole

➤ **Comment consomment-ils ces légumineuses?**

	Combien de fois par mois
Accompagnés de couscous	
En soupe	
En salade	
Avec des pâtes	
Autre : spécifiez	

➤ **Vos enfants, sont-ils conscients des bienfaits de ces légumineuses?**

Oui Non

➤ **Suivez-vous un régime végétarien ?** Oui Non

➤ **Si l'on vous confirme que certaines légumineuses apportent plus de protéines que les viandes rouges, serez-vous prêt à changer vos habitudes alimentaires ?**

Oui Non

➤ **Que disiez-vous sur des aliments à base de légumineuses transformées à l'échelle industrielle et qui présentent les majeurs bienfaits des légumineuses (ex : pâtes, biscuit)?**

Pour Contre

Selon vous, quelles actions publiques pourraient être réalisées pour favoriser et encourager la consommation des légumineuses alimentaire en Algérie?

Réponse :

Annexe 27 : Fiche de dégustation pour l'évaluation sensorielle

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Département d'agronomie

Panéliste N°:.....

Nom et prénom:.....

Sexe:..... âge :

Fonction:.....

- **Fiche de dégustation**

Nous évaluons actuellement des biscuits à base de légumineuses « lentilles ». Nous vous proposons de déguster chaque échantillon de biscuit et de nous donner votre avis sur sa qualité gustative. Veuillez déguster les biscuits et insérer le chiffre qui correspond à votre niveau de satisfaction pour chaque critère étudié :

Critères étudiés	Codes des échantillons								
	428	946	372	114	455	819	366	142	611
Couleur									
Odeur									
Texture									
Flaveur									
Goût									
Arrière-goût									
Croustillance									
Apéritif									

Critères étudiés	Codes des échantillons							
	221	547	688	771	147	523	699	743
Couleur								
Odeur								
Texture								
Flaveur								
Goût								
Arrière-goût								
Croustillance								
Apéritif								

-1,2,3 : Mauvais(e) - 4,5 : Bon(Bonne) - 6,7,8 : Très bon(bonne)
- 9 et 10 : Excellent(Excellente)

- **Classement par préférence** : classez les échantillons dégustés selon votre préférence (insérez un numéro de 1-17 devant l'échantillon).

428	946	372	114	455	819	366	142	611	221	547	688	771	147	523	699	743

- **Définitions :**

-**Couleur** : apprécier le niveau d'acceptabilité de la couleur des produits par les panélistes.

-**Odeur**: le panéliste est appelé à apprécier la sensation d'odeur des produits testés.

-**Texture**: le panéliste est appelé à apprécier l'aspect général, l'homogénéité, et l'hétérogénéité des biscuits testés.

-**Goût**: Consiste à apprécier l'acceptabilité du goût du produit.

-**Arrière-goût**: Le panéliste est appelé à apprécier la sensation de l'arrière-goût amère dans les produits présentés.

-**Croustillance**: Le panéliste est appelé à évaluer le pouvoir croquant du produit testé (si ce dernier croustille, ou bien craque sous la dent).

-**Apéritif**: contrairement aux produits coup fin, le panéliste est appelé à évaluer le pouvoir appétissant du produit.